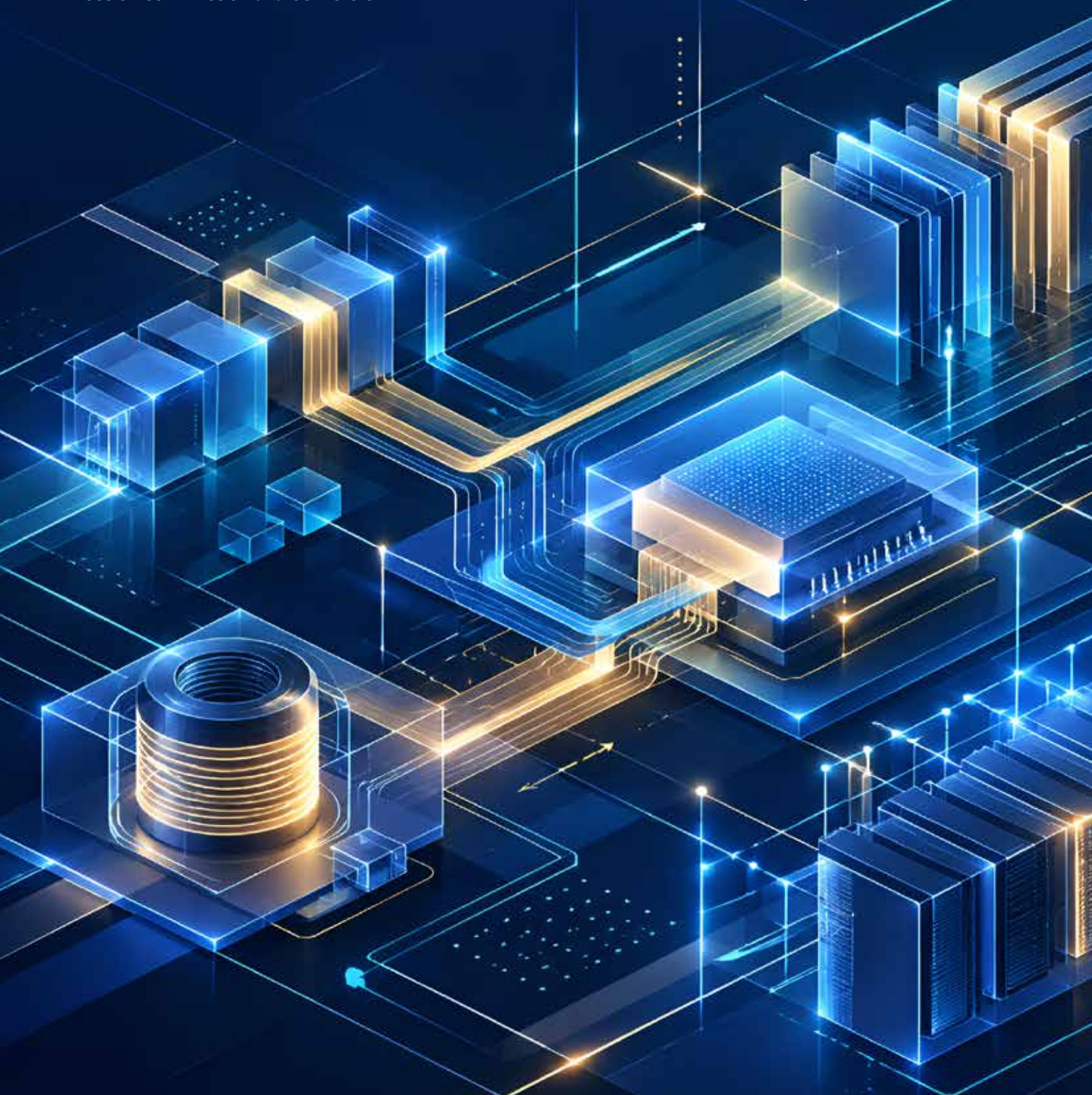


Bodo's 功率系统®

Bodo's Power Systems®

Electronics in Motion and Conversion

2026年9/10月刊 September/October 2026



爱戴爱集团
荣誉出品

i2i GROUP
—IDEAS TO INDUSTRY—

我们所售零件让生活更加舒适便利



从耳机到手机，从电视到平板，我们销售的零件融入您每天使用的产品中。

在 [digikey.cn](https://www.digikey.cn)，我们拥有海量零件，助您打造更加美好的未来。

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9/10月 · 目录

主编寄语	05	电源管理	
新闻	06	在有源钳位正激转换器中实现自驱动同步整流	18
面对面		作者: Randyco Prasetyo, 产品应用工程师, Michael Wu, 产品应用工程师, ADI 公司	
第七代IGBT量产 第八代IGBT首发 国产大功率IGBT刷新电流纪录	10	宽禁带半导体	
作者: Bodo's 功率系统杂志编辑部		坚更高功率, 更多 Token: 固态变压器 (SST) 如何重塑数据中心基础设施	22
蓝色产品	12	作者: Ehab Tarmoom, Microchip Technology 公司	
3300V/800A 双 SiC MOSFET 模块以高浪涌能力切入牵引与工业变流		大功率解决方案事业部应用工程经理	
绿色产品	13	设计与仿真	
650V GaN 双面散热8×8 封装为兆瓦级 AI 机架的800V 母线变换提速		面向高功率密度电机驱动的三相 GaN QFN 模块	26
电容器		作者: Marco Palma, Efficient Power Conversion (EPC) 市场与系统副总裁; Simone Scano, EPC 应用工程师	
面向高频功率应用的干式薄膜电容器	14	新产品	30
作者: Joe Bond, 首席技术官; Peter Best-Lydon, 应用工程师; 均来自 Electronic Concepts		广告索引	34

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





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.



SiC 与 GaN，下一步该怎么走？



与交流的平台。今年的活动将在慕尼黑举行，详情请见 www.bodoswbw.com。

活动首日（12 月 1 日）将以一场 90 分钟的圆桌讨论开场，SiC 和 GaN 领域的专家同场对话，其中也有来自用户一方的代表。器件厂商与应用工程师坐在同一张桌旁，供给侧的思路和需求侧的痛点可以直接对照。不做演讲，不设脚本，大家围绕宽禁带技术的发展方向和亟待解决的难题展开开放讨论。圆桌之后，是历届来宾都十分期待的交流晚会。可以肯定地说，在这里，您能见到真正想见的人。

次日（12 月 2 日）侧重技术深度，继续设置 SiC 和 GaN 两个平行分论坛，同期举办桌面展。来宾可以按自己的关注方向选择分会场，也可以在报告间隙走到展台前，与技术人员面对面深入交流。从近几年来宾的反馈看，这样的安排最受与会者认可。

门票将于 10 月 15 日开售，并继续提供早鸟票。在各项成本普遍上涨的情况下，今年的票价仍与去年持平，这也算是我们对各位支持者的一点心意。我们期待在慕尼黑与新老朋友相聚。

一本杂志，一份信念，一如即往，准时、高效。

Bodo Arlt

这些问题，单靠一篇文章、一场报告或一份新闻稿是讲不透的。文章往往只能呈现一种视角，报告受限于时间和主题，新闻稿则更多着眼于产品本身。很多时候，需要把几位经验不同、观点各异的业内资深人士请到一起，坐下来充分交流，让不同的判断在讨论中相互碰撞、相互补充。这也正是我们举办 Bodo's 宽禁带活动的初衷——为工程师群体提供一个讨论

绿色贴士：

节约用纸，从双面打印开始。日常办公中，优先选择双面打印，尽量使用电子文件代替纸质材料，并重复利用单面打印纸。小小的习惯改变，既能减少纸张浪费，也能为环境保护贡献一份力量。



扫描二维码或搜索微信号
"dldz360" 即可添加

收购印度数字电源团队，补强 AI 服务器“从电网到核心”的供电链



近 日，英飞凌宣布收购位于印度班加罗尔的 C2i Semiconductors，并于 10 月 5 日宣布完成交割，C2i 团队并入英飞凌 Power Systems 事业部。交易金额未披露。

C2i 专注于面向 AI 数据中心的软件定义多相控制器与智能功率级，在智能数字电源管理、系统级电源架构，尤其是垂直供电架构方面积累深厚，其技术路线还包括面向垂直供电的衬底集成稳压器（SIVR）。英飞凌表示，此次收购将 C2i 的数字电源专长与自身覆盖硅、碳化硅和氮化镓的功率半导体组合、全球规模及应用经验相结合，构建从电网到处理器核心（grid to core）的智能、自适应供电架构。

所谓软件定义电源，是把先进功率器件与数字控制、软件算法结合，实时优化电能转换与调节，使供电系统能够更快、更精确地响应 AI 处理器剧烈变化的负载，同时维持效率与系统稳定。此次收购也将扩展英飞凌在印度的研发与创新能力，英飞凌目前在印度拥有约 2,800 名员工。

www.infineon.com

最高约 2.33 亿美元收购垂直供电技术，补齐“电网到 xPU”的最后一环



近日，纳微半导体签署最终协议，收购开发垂直供电（VPD）与集成式电压调节器（IVR）技术的 Claros，对价最高约

2.328 亿美元，其中交割时以现金和 A 类普通股支付约 2.16 亿美元。交易已于 10 月 6 日完成。

Claros 的方案把电源转换、驱动、控制和无源器件集成进一个紧凑封装，可置于芯片封装正下方或内部，也可放在 PCB 上，把电力传输距离从数英寸缩短到数毫米，从而获得超快瞬态响应、更低阻抗，并提升亚伏级电压下的转换效率，降低板级配电损耗和发热。

纳微现有的 GaNFast 氮化镓与 GeneSiC 高压、超高压碳化硅产品主要覆盖 800V 高压直流（HVDC）架构中的前级转换。补上靠近 xPU 的最后一级之后，公司称已具备从电网到处理器的高功率产品组合，这也是其“Navitas 2.0”转型的核心一步；公司预计交易完成后 2030 年可服务市场将超过 80 亿美元，较此前翻倍以上。

www.navitassemi.com

AI 数据中心营收有望翻倍以上，10 月起开启年内第二轮调价



安森美 2026 年第二季度营收 16.04 亿美元，同比增长 9%；非 GAAP 毛利率 39.3%，非 GAAP 摊薄每股收益 0.74 美

元；自由现金流 4.254 亿美元，约为去年同期的四倍，自由现金流率由约 7% 提升至 27%。总裁兼首席执行官 Hassane El-Khoury 表示，AI 数据中心是公司增长最快的业务。

据新浪财经报道，安森美 2025 年 AI 数据中心相关收入约 2.5 亿美元，2026 年预计超过 5 亿美元。公司于 9 月 18 日发出通知，以原材料、制造、能源和基础设施成本持续上涨为由，自 10 月 10 日

起对更广泛的产品系列调价，这是其年内第二轮涨价，未披露统一幅度。

在 9 月 16 日的投资者日上，安森美将 2030 年总可寻址市场定为 2,130 亿美元，并估计单台 AI 机架从电网到芯片的半导体含量将从目前约 1.5 万美元提升至未来架构下的 11.5 万美元以上。

www.onsemi.com

年内第三轮调价 8 月 23 日生效，功率器件交期普遍超过 30 周



据行业媒体报道，意法半导体于 8 月中旬向客户发出新一轮调价通知，多条产品线价格自 8 月 23 日起上调，这是其

2026 年的第三轮价格调整。ST 未公布统一涨幅和受影响料号，具体由客户经理逐一沟通；市场反馈称，本轮部分车规级 MCU 料号涨幅为 15% 至 20%。

回顾全年节奏：第一轮于 3 月 24 日公告、4 月 26 日生效，主要针对供需最紧张的车规级功率半导体和高端工业 MCU；第二轮于 5 月 28 日公告、6 月 28 日生效，扩展至通用 MCU、功率 IC、NFC/RFID 芯片等。ST 在通知中表示，多个细分市场的

需求已连续多个季度保持强劲，而运输、能源、原材料和制造服务成本显著上涨。

报道同时指出，功率器件交期普遍已超过 30 周，部分器件最长达到 52 周。同期其他厂商也在密集调价：德州仪器过去 12 个月累计调价 5 次，英飞凌年内已完成两轮涨价，扬杰科技自 7 月 1 日起对全部产品上调 10% 至 15%。

https://www.st.com/

碳化硅功率器件进入新一代纯电平台电驱架构



近日，罗姆宣布其碳化硅（SiC）功率半导体解决方案已用于宝马集团“Neue Klasse”电动汽车平台的电驱架构。Neue Klasse 是宝马第六代

（Gen 6）电动汽车平台。

根据新闻稿，罗姆的 SiC 芯片与 SiC MOSFET 集成于车辆的电驱动系统，承担关键电力电子功能，设计目标是在高效的同时，确保在严苛的汽车工况下可靠运行，从而帮助优化电动汽车的续航里程、充电性能和整体能效。

罗姆半导体欧洲总裁 Wolfram Harnack 表示，罗姆 SiC MOSFET 进入宝马第六代电动汽车，体现了公司在汽

车电力电子领域的技术积累，也体现了罗姆长期为汽车客户提供高品质、高可靠性产品的承诺。

新闻稿未披露具体器件型号、电压与电流等级或供货规模。对 SiC 供应链而言，这一案例的意义在于：在 800V 平台与高集成电驱成为主流的背景下，欧洲头部车企的新一代平台继续把 SiC MOSFET 作为主驱核心器件。

www.rohm.com.cn

HITACHI

整流二极管-严苛工业和牵引应用的最佳选择

从大型交流驱动器和铝冶炼厂到轨道辅助电源和高压大功率整流器：日立能源的整流二极管使得系统在最严苛的工业和牵引应用中保持可靠运行。其电压高达 8500 V，具有出色的额定值和浪涌电流能力，可以在未来几年持续运行。

hitachienergy.com/semiconductors



Bodo's 功率系统 · bodospowerchina.com

8 英寸 1200V SiC MOSFET 代工工艺通过可靠性认证



近日,韩国晶圆代工厂 DB HiTek 宣布,其在 8 英寸晶圆上制造的 1200V 碳化硅 MOSFET 工艺已完成可靠性认证。公司称已

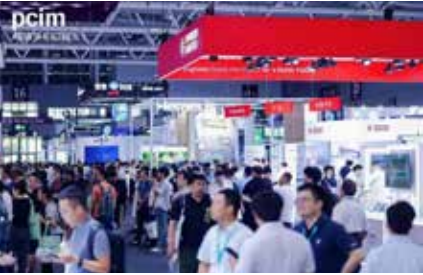
建立全球首个完整的 1200V、8 英寸 SiC 晶圆代工工艺流程,目标在 2027 年实现量产。

已完成认证的是第二代工艺:比导通电阻 (R_{sp}) $\leq 2.5m\Omega \cdot cm^2$, 阈值电压 $\geq 3V$, 导通栅压 18V。第三代工艺正在认证中,目标是在 18V 栅压下将 R_{sp} 降至 $\leq 2.3m\Omega \cdot cm^2$, 并在短路安全工作区内实现 $\geq 2.5\mu s$ 的短路耐受时间,相应 PDK 计划于 2026 年 11 月发布。

DB HiTek 目前已向客户提供第一代和第二代 1200V SiC MOSFET 工艺的 PDK,称可帮助客户把产品开发时间缩短一年以上。按计划,公司在 2026 年第三季度完成工艺准备并向长期客户开放,2027 年第二季度起向所有客户开放服务。对于缺少自有 SiC 产线的设计公司而言,8 英寸 SiC 代工产能的出现,意味着进入车规和工业 SiC 市场的门槛正在降低。

<https://www.dbhitek.com/en>

PCIM Asia 深圳展落幕: 观众逾 2.5 万人次, 海外观众增长 183%



PCIM Asia Shenzhen 2026 于 8 月 26 日至 28 日在深圳国际会展中心举行。据主办方 9 月 3 日发布的总结,本届展会

共吸引 25,313 人次到访,较 PCIM Asia Shanghai 2025 增长 49%;海外观众约 1,300 人,增长 183%;271 家企业参展,展览面积 30,000 平方米,增长 20%。

三菱电机和英飞凌担任战略合作伙伴,赛米控丹佛斯、富士电机和罗姆为白金赞助商,博世、日立能源、Power Integrations、东芝、Vishay 等企业参展。14 号馆设有 AIDC 电力生态系统专区、电动出行电力电子产业链展示专区、可再生能源与智慧能源专区以及产学研协同专区。

会议方面,PCIM Asia Shenzhen Conference 共安排 131 场报告,吸引 1,814 人次参会;同期 17 个论坛与研讨会板块共有 115 场技术报告,其中全球战略峰会与功率半导体新锐峰会集中讨论了市场周期与新技术商业化。从专区设置来看,AI 数据中心供电已与电动出行、新能源并列,成为展会的三大应用主线之一。

www.pcimasia-shanghai.cn

xEV 功率器件市场 2031 年将达 145 亿美元, 1.2kV 以上细分年增 27.4%



市场研究机构 Yole Group 在《汽车动力总成与电气化 2026——聚焦电力电子》报告中预计,xEV 功率器件市场将在

2025—2031 年以 14% 的复合年增长率增长,到 2031 年达到 145 亿美元。

Yole 认为,2024—2025 年行业经历了一轮“现实检验”:混动销量增长、纯电增速暂时放缓,但 xEV 正在恢复增长势头,到 2031 年将约占全球轻型车产量的 70%,其中纯电动车约 3,300 万辆。牵引逆变器仍是功率器件收入的绝对主体;行业正从 400V 向 800/1000V 架构迁移,1.2kV 及以上器件细分市场 2025—2031 年复合增长率达 27.4%。

分技术看,硅 IGBT 模块仍占主导,规模将接近 70 亿美元;SiC MOSFET 年复合增长率 21.5%,主要由中国纯电车队推动;GaN HEMT 增速接近 90%,但到 2031 年体量仍然较小。供应链方面,中国车企越来越多地将牵引逆变器和电驱桥转为自制,一级供应商继续通过并购整合,博世、瑞萨和罗姆都在产能过剩背景下重新评估各自的 SiC 制造布局。

<https://www.yolegroup.com/>



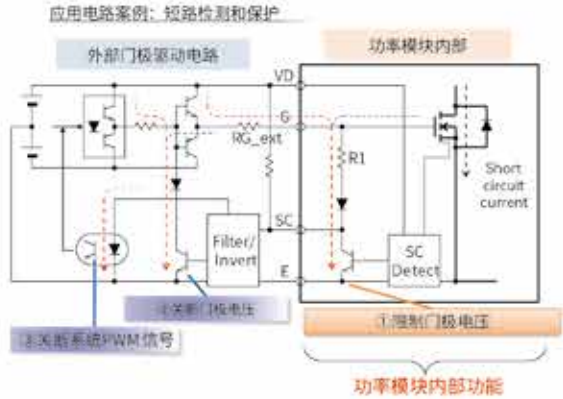
第2代 全SiC MOSFET模块

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

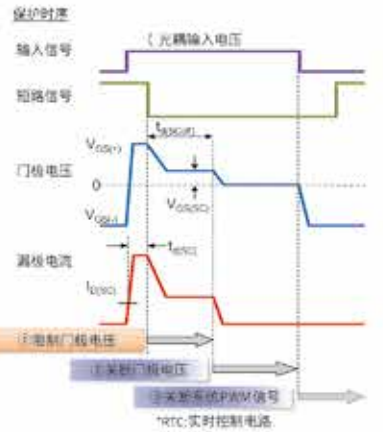
短路电流限制功能(RTC电路)

- 当短路发生时,门极电压可以自动嵌位。
- 可以根据RTC信号立刻逐级关闭驱动电路



产品一览

	62x122mm	62x122mm	62x122mm	122x122mm	62x108mm	62x122mm	50x90mm
	2in1/4in1	4in1	2in1/2in1 chopper (NMOS)	2in1	2in1	2in1	6in1
	No	Yes	Yes	Yes	No	No	SC protection
	800A: Yes 400A: No	-	-	-	-	-	-
	5.0kV	5.0kV	5.0kV	5.0kV	4.0kV	4.0kV	2.5kV
	FMF400BX-24B FMF800DX-24B	FMF300BXZ-24B FMF400BXZ-24B	FMF600DXZA-24B FMF800DXZA-24B FMF3000XZ-34B FMF300E3XZ-34B	FMF1200DXZ-24B	FMF4000Y-24B	FMF6000XL-24BN FMF6000XL-34BN	PMF75SCGA120 PMF75SCGAL120
	Embedded				No	Embedded	OT protection
	Yes				No	No	Yes



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

第七代 IGBT 量产 第八代 IGBT 首发 国产大功率 IGBT 刷新电流纪录

功率半导体这条赛道上，能同时拿出两项“全行业第一”的中国企业并不多见。2026 年 8 月至 9 月间，赛晶半导体在短短几周内接连亮出两张底牌：一款是全行业首发、全行业最大电流的 1200V/1100A ED 封装 IGBT 模块；另一款，是全球首家推出的、搭载真正第八代 IGBT 芯片技术的 2300V/1600A XP 模块。前者用的是已经批量出货、追平欧洲头部厂商水平的第七代微沟槽 IGBT 芯片，后者则是刚刚从实验室走到聚光灯下的第八代 i26 芯片组。两代技术、两个“第一”，几乎在同一时间亮相，恰好构成了一条完整的技术升级路径——赛晶半导体不再只是跟跑者，而是在多个技术节点上开始定义行业标准。

作者：Bodo's 功率系统杂志编辑部

1200V/1100A ED 模块：第七代芯片撑起的“全行业最大电流”

ED 封装是工业变频、光伏逆变、储能 PCS 等场景里用得最多、也最讲究性价比的标准化封装形式，行业内通常称为 EconoDUAL 型模块。它的价值恰恰在于“标准”——同样的外形尺寸下，谁能把电流做得更大、可靠性做得更高，谁就掌握了单位成本的话语权。赛晶半导体在 2026 年 6 月的德国纽伦堡 PCIM 展会上，把这个“标准答案”改写到了 1200V/1100A：全新 1200V ED 系列模块采用半桥拓扑，集成了业界领先的 Pin-Fin 直接液冷散热技术，针翅结构的散热方案让模块的功率处理能力比传统方案提升了近 40%，确保 1100A 大电流输出时结温仍留有充分的安全裕量。

这颗模块背后，是芯片端一次实打实的代际跃迁。赛晶半导体总经理张强在接受采访时提到，这款模块采用通用标准封装、可直接实现进口替代，通过新材料与全新结构优化，把传统的 1200V/600A 产品直接升级到了 1200V/1100A，输出能力大幅提升，而支撑这一切的正是赛晶第七代微沟槽 IGBT 芯片——一款让赛晶在性能上首次追平欧洲头部厂商、并推出全球首款同封装 1100A 大功率模块的芯片平台。2026 年半年报进一步印证了这一进展的分量：公司在模块端“全面切换 7 代 IGBT 芯片，推出行业首发 1200V/1100A ED 封装 IGBT 模块”；而在 8 月的中期业绩发布会上，管理层更直接给出了定性判断——“我们研发推出了全行业最大的 1200V 1100A IGBT 模块，在该领域取得了历史性突破”。这不是一句公关式的自我肯定：搭载第七代 i23 系列芯片的产品当期已经开始批量出货，并成功通过国内商用车电驱领域某领军企业的严苛路测，进入重卡供应链——重卡对 IGBT 的功率等级和可靠性要求远高于一般工况，能够通过验证本身就是对芯片性能的一次硬指标背书。

2300V/1600A XP 模块：世界首家的“真正第八代”

如果说 1200V/1100A ED 模块是第七代芯片交出的答卷，那 2300V/1600A XP 模块就是赛晶半导体向下一代技术发起的正面冲锋。今年 9 月初，赛晶半导体正式对外宣布：“世界首家推出真正第八代 2300V IGBT，1600A 全行业最大电流，XP 模块。”这款模块具备高可靠性——可耐受温度冲击、盐雾及高海拔等恶劣工况；并联均流优异——多模块并联时电流均衡、便于系统扩容；功率密度更高——整机结构更紧凑、释放安装空间，目标场景直指海

上风电、大容量储能、大功率制氢、轨道交通与大功率光伏五大高增长领域。



在 PCIM Asia 深圳 2026 上，赛晶半导体高级研发工程师 Nick Schneider 首次系统披露了新一代 i26 系列 2300V IGBT 芯片组——它正是这款模块的技术核心。功率变换系统正在全面迈向高压化。以光伏为例，主流系统直流母线电压已普遍提升至 1500V，传统三电平 1200V IGBT 方案正加速被两电平高压方案替代。风电系统正经历同样的电压跃迁：当前主流机组并网电压为 AC 1140V，而下一代系统将提升至 AC 1800V，对应直流母线电压高达 3000V。在这一电压等级下，三电平拓扑中每个开关器件需承受母线电压的一半，即 1500V 工作电压，叠加关断过压裕量后，2300V 耐压成为精准匹配的选择——i26 系列 2300V IGBT 芯片组正是为这一需求而生。与此同时，3000V 级母线对芯片的绝缘耐压和漏电流控制提出了前所未有的更高要求，这也正是 i26 系列在芯片设计上的核心突破方向。

赛晶给出的方案是：XP 封装半桥模块额定电流达到 1600A，可直接替代传统的 ED3 封装，绝缘性能与爬电距离均满足标准要求；其搭载的 i26 芯片采用超精细元胞间距设计，通过特征尺寸微缩提升元胞密度、优化栅极与发射极沟槽排布，并以氢离子注入实现定制化场截止层，从而支持更激进的晶圆减薄——在降低导通与开关损耗的同时，兼顾了关断可控性、短路安全工作区（SCSOA）与反偏安全工作区（RBSOA）。与之搭配的 QLLC 二极管，则通过阳极注入效率调控、载流子寿命控制与漂移区厚度优化，实现了更柔和的反向恢复特性和更充裕的安全工作区。在 750A、1500V、175℃ 的实测条件下，i26 系列 IGBT 与 QLLC 二极管相比基准器件展现出更优的损耗折衷；在 1300A、1500V、25℃ 的关断测试中，优化后的接触布局方案能在远短于常规布局的开关时间内达到相同的 dV/dt 水平，验证了芯片组在大电流工况下的可控性与鲁棒性。

两代技术并行，走出一条清晰的向上曲线

把这两个事件放在一起看，会发现赛晶半导体走的不是“押宝一款产品”的路子，而是一条清晰的技术梯队打法：第七代 i23 微沟槽芯片已经完成从样品到量产的跨越，撑起了 1200V/1100A 这

样的走量主力产品，并在商用车、光伏、储能等应用里拿到了真金白银的订单；第八代 i26 芯片组则代表着面向 2300V 高压平台、面向 AI 数据中心和新一代可再生能源逆变器的下一步棋，2026 年半年报里“第 7 代微沟槽 IGBT 推出 1050V 产品和 2300V 工程样品”的表述，正是这条技术路线承上启下的真实写照。两代芯片、两个封装平台、两个全行业第一，几乎同步走到了聚光灯下——这在功率半导体这样一个需要长周期、重资产投入的行业里，并不常见。

这条曲线的起点其实并不高。2019 年初赛晶半导体正式启动自主 IGBT 技术项目，同年落户浙江嘉善生产基地，研发团队以原 ABB 半导体技术团队为班底；2020 年 9 月，公司推出的首款自研芯片是 i20 系列，采用第四代沟槽栅技术，规格仅为 1200V/250A，彼时的定位也只是“优于国际上部分厂商的第四代芯片”。短短六年，赛晶从 1200V/250A 的第四代芯片，走到了 1200V/1100A 的第七代芯片规模化出货，又一路走到了 2300V/1600A 的第八代芯片全球首发——这不是简单的参数堆叠，而是一次又一次在封装结构、散热工艺、芯片终端设计上死磕出来的代际跨越。



IGBT 和碳化硅器件长期被视为电力电子设备的“心脏”，也是过去十几年里被欧美日大厂牢牢把持的关键部件。从 2019 年组建团队、2020 年推出追赶型的第四代芯片，到今天在 7 代芯片实现批量替代进口的同时，用 8 代芯片第一次跑到了行业最前面——赛晶半导体这条路径，某种意义上正是国产功率半导体从“跟跑”走向“并跑”乃至局部“领跑”的一个缩影。当 2300V/1600A 的第八代 IGBT 第一次挂上“世界首家”的标签时，它所代表的已经不只是一颗芯片的参数突破，而是国产研发力量在高压大功率赛道上，第一次拿到了定义规则的入场券。

<https://www.swiss-sem.com/>

<https://www.sunking-tech.com/>

3300V/800A 双 SiC MOSFET 模块 以高浪涌能力切入牵引与工业变流

在铁路牵引、可再生能源和中压变流这类应用里，功率模块的首要考核往往不是峰值效率，而是异常工况下能否扛得住。



电网故障、负载突变或保护动作的瞬间，大浪涌电流会流经功率模块，一旦二极管部分承受不住，整台设备就可能停机。近日，东芝电子元件及存储装置株式会社推出 3300V/800A 双 SiC MOSFET 模块 IX800FXF2YMS4，并把二极管部分的 I_{ft} 限值作为表征浪涌电流能力的规格项写进了产品参数。

产品定位

该模块采用东芝第三代 SiC MOSFET 芯片，额定漏源电压 3300V，直流漏极电流 800A，脉冲漏极电流 1600A，采用 iXPLV（intelligent fleXible Package Low Voltage）封装，典型尺寸 144 × 99.5 × 40mm。东芝列出的目标应用包括铁路牵引逆变器与变流器、可再生能源发电系统、固态变压器（SST）、不间断电源（UPS）、储能系统（ESS）以及工业电机控制设备。随着这款产品加入，东芝 iXPLV 封装的 SiC MOSFET 模块增至 4 款。

三大设计意义

一、浪涌能力被量化。通过优化 SiC 芯片设计，模块二极管部分的 I_{ft} 限值达到 300kA²s（测试条件：初始通道温度 175° C、VGS= - 6V、10ms 半正弦波、单脉冲）。I_{ft} 是衡量器件在短时大电流冲击下所能承受能量的常用指标，把它明确写入规格，意味着系统工程师在做熔断器、断路器等保护协调设计时有了可直接引用的依据，而不必完全依赖经验余量。

二、导通与开关损耗同时压低。在 800A、25° C 条件下，典

型漏源导通电压（感测）为 1.4V；在 1800V、800A、175° C 条件下，典型开通损耗 185mJ、关断损耗 175mJ。东芝表示，这些特性有助于提升设备的可靠性与效率，并缩小冷却系统。对于牵引和中压变流设备而言，散热器和冷却回路往往占据相当的体积与成本，损耗的降低会直接转化为系统层面的收益。

三、封装与互连面向 175° C 工作。模块采用银烧结键合技术，提高 SiC 芯片键合部位的耐热性和可靠性，实现工业设备所需的 175° C 通道温度额定值；隔离电压 6000Vrms（交流 60 秒），P-N 端子间杂散电感典型值仅 12nH，有利于抑制 SiC 高速开关带来的关断电压过冲。iXPLV 封装具有良好的安装兼容性，便于客户在既有平台上导入。

关键技术细节

- 型号：IX800FXF2YMS4，双 SiC MOSFET 模块，第三代 SiC 芯片；
- 额定值：VDSS 3300V，VGSS +25/ - 10V，ID 800A，IDP 1600A，Tch 175° C；
- 浪涌能力：二极管 I_{ft} 300kA²s（Tch 初始 175° C，10ms 半正弦，单脉冲）；
- 导 通 特 性：VDS(on)sense 1.4V、VSD(on)sense 1.4V、VSD(off)sense 2.2V（典型值，800A，25° C）；
- 开 关 损 耗：Eon 185mJ / Eoff 175mJ（1800V，800A，175° C，典型值）；
- 封 装：iXPLV，144 × 99.5 × 40mm，银 烧 结 键 合，Visol 6000Vrms，LsPN 12nH；

对行业的信号

3.3kV 等级的 SiC 模块正在从个别示范项目走向成体系的产品线。东芝把 SST 与 UPS、ESS 并列写入目标应用，呼应了 800V 高压直流数据中心和电网侧中压变换对高压 SiC 器件的新需求；而对浪涌能力的量化，则说明 SiC 进入牵引与电网市场时，关注重点正从“能否替代 IGBT”转向“能否满足同等甚至更严格的可靠性规范”。东芝表示，将继续扩展面向工业设备的 SiC MOSFET 模块产品线，以满足多样化的设备规格与应用需求。

<https://toshiba.semicon-storage.com/>

650V GaN 双面散热 8 × 8 封装 为兆瓦级 AI 机架的 800V 母线变换提速

在这一架构里，800V 母线需要先降到 48V、12V 甚至 6V，再送往计算板，这一级中间母线变换器（IBC）必须在有限的板面积和散热余量下处理越来越大的功率。



近日，瑞萨电子发布 TP65H020G4PLSGBD，称其为业界首款采用双面散热（DSC）的 650V GaN 器件，封装仅 8 × 8mm。

产品定位

该器件基于瑞萨 Gen IV Plus 耗尽型（D-mode）GaN 架构，导通电阻 20mΩ，瑞萨称其为 650V 等级中最低之一，并可满足下一代 AI 数据中心最高 700V 的运行需求。目标应用是 800V DC/DC 中间母线变换器，以及侧车电源机架（sidecar）中的电池备份单元（BBU）和电容器组单元（CBU）。DSC PQFN 封装由瑞萨与主要 AI 基础设施客户共同定义，采用业界标准封装占位，以便客户灵活采购。

三大设计意义

一、尺寸与散热同时改善。与现有 10 × 15mm 的 TOLT 封装相比，8 × 8mm 的 DSC 封装面积缩小 57%，热量可从顶部和底部两侧导出，顶部热阻降低 10%。更小的封装不仅节省 PCB 面积，也让并联 FET 之间的布局更加匹配。瑞萨高压 GaN 高级产品线总监 John Wiggenhorn 表示，这让设计人员无需重新设计电路板或增加散热硬件，就能让更多功率通过中间母线。

二、沿用硅栅极驱动，降低导入门槛。器件阈值电压高，无需负栅压，可直接由标准硅栅极驱动器驱动，不需要专用的增强型（E-mode）GaN 驱动器；同时具备低栅极电荷、低输出电容，内置续流二极管且反向恢复极小。对于已经在使用硅器件的电源团队来说，这意味着升级到 GaN 的改动更小。

三、参考设计给出系统级数据。基于新器件、由瑞萨 RA6T3 MCU 控制的 6kW 800V 转 48V LLC 直流变压器（DCX）参考设计，功率密度达到 2.6kW/in³；按模块测试时，满载效率比等效的 TOLT 方案高 0.21%。瑞萨还提供基于同一 DSC 8 × 8 平台的 800V 转 12V 和 800V 转 6V IBC 参考设计。器件可工作在 MHz 频段，有助于减少无源元件、降低整体 BOM 成本。

关键技术细节

- 型 号：TP65H020G4PLSGBD，650V D-mode GaN，Gen IV Plus 架构；
- 导通电阻：20mΩ；支持最高 700V 运行需求；
- 封装：双面散热 PQFN 8 × 8mm，比 10 × 15mm TOLT 小 57%，顶部热阻降低 10%；
- 驱动：高阈值电压，无需负栅压，兼容标准硅栅极驱动器；
- 参 考 设 计：6kW 800V → 48V LLC DCX（RA6T3 MCU），2.6kW/in³，满 载 效 率 较 TOLT 方 案 高 0.21%；800V → 12V/6V IBC；
- 配套：瑞萨 AUX 控制器、栅极驱动器与 MCU，构成一站式电源方案；
- 进度：目前正在送样，计划 2027 年年中量产；10 月 12 日至 15 日在圣何塞 OCP 全球峰会展示。

对行业的信号

高压 GaN 在数据中心的竞争，正从比拼单颗器件的导通电阻，转向封装、散热与驱动生态的综合较量。双面散热小封装把 GaN 的高频优势与服务器电源对功率密度的苛刻要求结合在一起，而“沿用硅驱动”的策略则直接回应了客户对导入成本和供应链灵活性的顾虑。由主要 AI 客户参与定义封装，也说明 800V 架构的器件规格正在由终端需求反向塑造。该器件计划于 2027 年年中量产，届时将与碳化硅及其他 GaN 方案在 800V 中间母线变换这一关键环节展开正面竞争。

<https://www.renesas.cn/>

面向高频功率应用的干式薄膜电容器

与传统硅晶体管相比，SiC、GaN 等新型半导体材料的开关频率大幅提高，这也让变换器、稳压器等功率应用对电容器提出了更高的要求。采用低 ESL 设计的新一代干式薄膜电容器能够从容应对这些挑战，而其中的关键，在于元件设计与系统设计之间的相互配合。

作者：Joe Bond，首席技术官；Peter Best-Lydon，应用工程师；
均来自 *Electronic Concepts*

以干式塑料薄膜为介质的电容器（即薄膜电容器）是现代电力电子系统中的一项关键技术。这类电容器可靠性高、损耗低，容量随温度和频率变化很小，因此非常适合对效率和寿命要求严苛的应用。与常用的电解电容器不同，薄膜电容器无需液态介质，也不需要复杂的密封结构，设计上可以做得更紧凑、更灵活。

其中，金属化薄膜电容器凭借自愈特性，在长期稳定性方面具有决定性优势，典型应用包括吸收（缓冲）电路、直流母线电路、EMC 滤波器以及逆变器输出滤波器。随着现代功率半导体的不断进步，业界关注的重点正逐步从单纯“提供电容量”，转向针对具体应用深度优化的定制化元件。

技术背景

SiC、GaN 等宽禁带半导体的应用使开关频率显著提高，与此同时，谐波和电磁干扰的频谱范围也随之展宽。因此，无源元件——尤其是电容器——面临着更为严格的要求。

在许多功率变换拓扑中，频率提高后所需的电容量会相应减小，但对寄生参数的要求却更高了。低等效串联电感（ESL）、低损耗（ESR）以及高自谐振频率成为首要的设计准则，而采用实心引线的传统设计正日益逼近其物理极限。

高频效应

趋肤效应与透入深度

趋肤效应是高频应用中的一个关键现象，即电流集中在导体表面流动。特征透入深度 δ 随频率升高而减小，导体实际可用的导电截面积也随之缩小。无论是圆导体还是扁平导体，透入深度沿导体周边的分布都十分重要，如图 1 和图 2 所示。

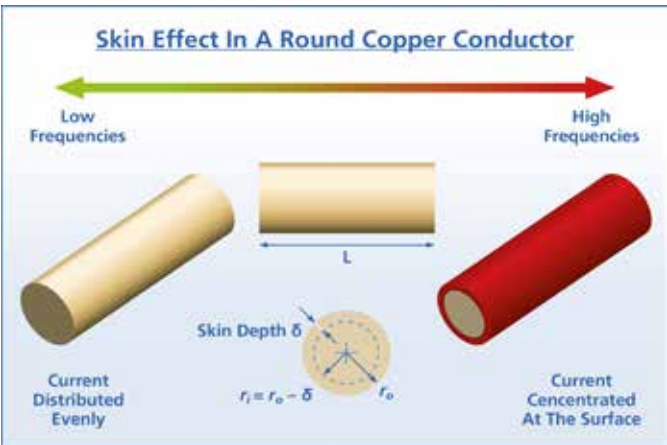


图 1: 圆形铜导体中的趋肤效应。图片来源: *Electronic Concepts*

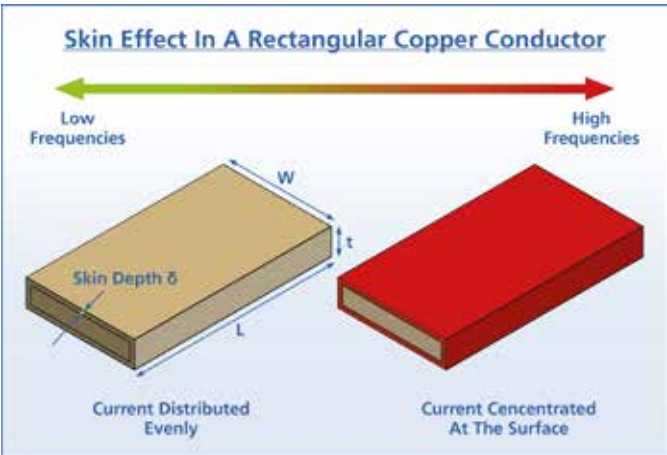


图 2: 矩形铜导体中的趋肤效应。图片来源: *Electronic Concepts*

趋肤效应会导致交流电阻增大，进而带来更高的损耗和热应力。在所需工作频率下，导体的直流电阻与交流电阻相等时，即为最佳导体设计。此外，导体材料（如铜或铝）也会影响透入深度，如图 3 所示。

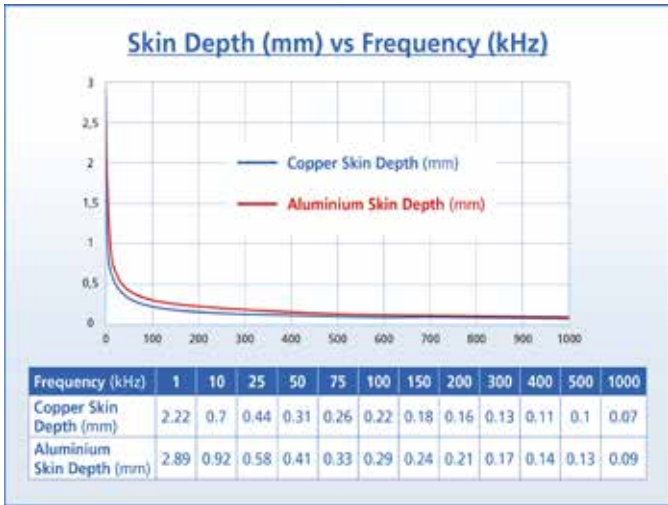


图 3: 铜导体与铝导体的趋肤深度 (mm) 随频率 (kHz) 变化对比。
图片来源: *Electronic Concepts*

以铜为例，1 kHz 时的透入深度约为 2.2 mm，到了 MHz 频段则降至 0.1 mm 以下。要在高频下保持低电阻，趋肤深度必须大于圆导体的半径或扁平导体厚度的一半。当趋肤深度恰好等于半径或半厚度时，所对应的频率即为阈值频率（也称转折最高频率）。一旦超过该频率，导电截面不足、电阻增大，导体发热就会加剧。因此，电容器的谐振频率必须低于这一阈值频率；而电容器的 ESL 越低，其谐振频率就越高。

常用的应对措施包括采用扁平导体、多端子结构，或管状、箔状导体等特殊几何形状。这些方法可确保导体在高频下依然具有足够的有效截面，同时抑制发热。

ESL 与谐振频率的相互关系

电容器的寄生电感在很大程度上决定了其自谐振频率。降低 ESL 可以将自谐振频率推高，从而拓宽电容器的可用带宽。与此同时，还必须控制好趋肤效应引起的损耗，以免发生热过载。

系统与电路层面的对策

在系统层面，降低寄生效应的方法有多种。在功率较低的应用中，通常会在印制电路板上并联多颗标准电容器，并通过布置方向相反的电流路径，使磁场部分相互抵消，从而降低等效电感。

不过，这种做法会增加元件数量，并带来额外的 PCB 面积和装配成本。在大功率应用中，专门开发的低 ESL 电容器往往更为经济，因为所需特性在其设计阶段就已集成到位。

薄膜电容器的设计

卷绕结构与材料利用率

薄膜电容器采用卷绕式介质结构，其几何形状对电气性能和热性能至关重要。图 4 给出了这种卷绕结构的基本组成，包括留边区和错边区。

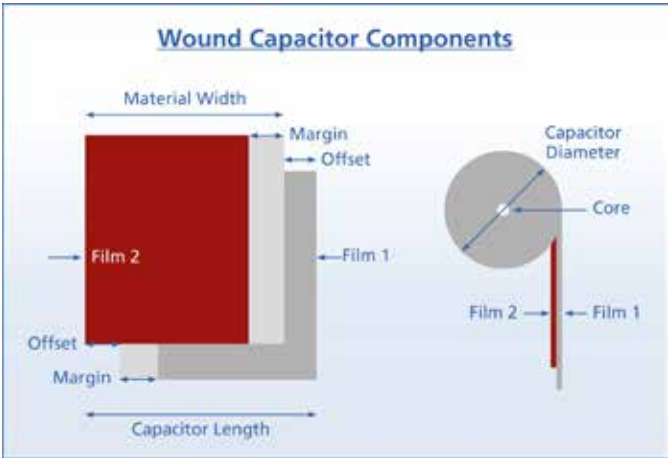


图 4: 卷绕式电容器的结构组成（着色仅为示意）。图片来源: *Electronic Concepts*

留边、错边等非有效区域会降低有效面积的利用率，但出于设计需要又必不可少。减小薄膜宽度虽然会降低体积效率，却能提升载流能力，同时降低 ESR 和 ESL。如何取舍，需要结合具体应用进行优化。

几何结构与热性能

卷芯直径与长度之比对电容器性能影响显著。短而粗的紧凑型设计在载流能力和散热方面更具优势，而细长型结构的材料利用率更高。两者的对比见图 5。



图 5: 5 μm BOPP 干式薄膜电容器的卷绕参数。图片来源: *Electronic Concepts*

对比实验表明，减小介质宽度能够带来明显的性能提升：材料宽度减半后，谐振频率由约 67 kHz 升至 95 kHz，提高了 42%。功率性能方面的优势同样突出——ESR 从 9.29 mΩ 降至 2.06 mΩ，降幅达 78%，峰值电流和有效值电流能力均提升一倍以上。更低的 ESR 和热系数大幅减少了内部发热，使预期寿命提高了一个数量级以上。这类塑料介质属于有机材料，遵循“10 °C 法则”，即工作温度每降低 10 °C，寿命延长一倍。

现代高性能电容器的设计思路

先进的电容器方案会采取有针对性的设计措施，最大限度地抑制寄生效应，包括同心卷绕结构、集成母排结构以及大面积端子等。

通过在内部使电流反向流动，可以形成同轴电路路径，从而有效补偿电感。这样便构成了真正意义上的同轴卷绕，可有效抵消整只电容器的电感。在直径 9–38 mm 的空心卷芯上，可实现双层或三层同心卷绕。针对伸出外壳的端子，Electronic Concepts 还采用了额外的电感抵消技术，可将 ESL 降至 5 nH。该技术已应用于 LH3 系列产品，并可作为 UL3、UX3 和 MP3 直流母线电容系列的选选项。图 6 展示了上述系列以及 Electronic Concepts 的其他电容器产品。



图 6: Electronic Concepts 部分薄膜电容器产品。图片来源: Electronic Concepts

采用此类设计，ESL 可低至数纳亨量级，因而特别适合高频应用。这种集成化方案的一大优势在于不依赖外部布局措施，能够保证电气特性的一致性和可复现性。

如何解读电容器规格参数

评估数据手册时，务必区分元件级参数与系统级参数。数据手册中常见的低 ESL 标称值，往往是在优化安装条件下测得的，而非元件本身的数值。

如果 PCB 布局不当，实际等效电感可能会高出许多。因此，

只有深入理解元件与系统环境之间的相互作用，才能避免误读参数和选型失配。

结论

现代功率半导体开关频率的不断提高，使电容器面临的要求显著提升。除传统参数外，ESL、ESR 等寄生参数的重要性也日益凸显。

要获得最优方案，必须统筹兼顾系统设计与元件设计。电路层面的措施在某些场合或许已经够用，但集成化的低 ESL 电容器优势明显，在大功率应用中尤其如此。

现代薄膜电容器融合了创新材料、优化的几何结构和先进制造工艺，以满足日益提高的应用需求。针对具体应用的定制化设计，将是决定未来电力电子系统效率、可靠性和成本效益的关键因素。

术语表

- 10 °C 法则：一条经验规律，即工作温度每降低 10 °C，聚合物介质材料的寿命约延长一倍。
- AS9100：航空航天行业质量管理体系标准，等同于 EN 9100。
- 介质（Dielectric）：电容器电极之间的绝缘材料，决定电容器的耐压能力和高频特性。
- ESL（等效串联电感）：电容器固有的寄生电感。ESL 越低，高频性能越好。
- ESR（等效串联电阻）：电容器的等效电阻分量，表征其内部损耗。
- 薄膜电容器（Film Capacitor）：以聚合物薄膜为介质的电容器。金属化薄膜电容器在介质击穿后具有自愈能力。
- 趋肤效应（Skin Effect）：交流电流趋向于集中在导体表面附近流动的现象，会使导体电阻随频率升高而增大。
- 吸收电路（Snubber）：用于抑制电压瞬变、阻尼振荡的电路，也称缓冲电路。
- 宽禁带半导体（Wide Bandgap Semiconductors）：SiC、GaN 等禁带宽度较大的半导体材料，可使相应电路实现更高的效率、更高的开关频率和更好的热性能。

www.electronicconcepts.ie

Bodo's Wide Bandgap EVENT 2026

Save the Date!
December 1-2
Hilton Munich Airport



"Meet
the TOP EXPERTS
for SiC and GaN!"

December 1
Opening Roundtable
& Come Together

December 2
Conference
& Tabletop Exhibition



bodoswbg.com

Bodo's Power Systems®

在有源钳位正激转换器中实现自驱动同步整流

自驱动同步整流能够提高有源钳位正激转换器的效率，同时避免使用隔离式次级侧栅极驱动器。本文回顾了传统自驱动方案的工作原理，并指出了它在实际应用中的局限性。文中提出了一些简单的电路修改方案，以扩展可用工作范围，使方案适用于高输出电压和低输出电压设计。文中还包含了使用有源钳位正激控制器的实测应用示例，以展示实际性能和设计中的权衡取舍。

作者：Randyco Prasetyo，产品应用工程师，Michael Wu，产品应用工程师，ADI 公司

引言

在电信基础设施、数据中心、工业自动化和汽车电子等应用中，随着对大电流、低电压电源的需求日益增长，对效率、热性能和功率密度也提出了更高要求。随着负载电流持续上升，与输出整流相关的功率损耗在整体转换器效率中的占比越来越大。在许多隔离式 DC-DC 转换器设计中，次级侧整流二极管成为主要瓶颈，限制了电流能力和热性能的提升。

解决整流损耗的最有效方法之一是同步整流，即用功率 MOSFET 替代变压器次级侧的二极管。由此带来的效率提升可直接转化为功耗降低、热裕度改善、连续输出电流能力增强。

尽管具有上述优势，同步整流在隔离式转换器架构中仍面临若干实施挑战。其中之一是需要为次级侧 MOSFET 生成合适的栅极驱动信号，同时保持与初级侧控制器的隔离。传统解决方案通常采用专用的隔离式栅极驱动器或复杂的次级侧控制电路，两者均会增加成本、复杂性和元件数量。

对于输入电压范围有限的转换器拓扑（通常变化不超过 2 倍），自驱动同步整流提供了一种简洁且低成本的替代方案。在此方案中，同步整流器的栅极驱动信号直接取自变压器次级电压，从而无需专用驱动 IC。当与有源钳位正激转换器拓扑结合时，自驱动整流尤为适用，因为复位波形天然产生适合直接驱动 MOSFET 栅极的方波电压。

本文探讨了自驱动同步整流在有源钳位正激转换器中的应用原理。文章描述了基本工作机制，指出了传统实现方式的关键局限，并提出了可扩展可用输出电压范围的实用电路修改方案。文中讨论了使用 ADI 公司有源钳位正激控制器的测试应用实例，以说明实际性能和设计注意事项。

有源钳位正激转换器概述

有源钳位正激转换器是传统单端正激拓扑的演进版本，旨在提高效率并降低初级侧开关器件的电压应力。在传统正激转换器中，变压器复位通常通过第三个复位绕组或电阻 - 电容 - 二极管 (RCD) 钳位网络来实现。此类方案尽管可行，但会消耗磁化能量，并对初级侧开关施加显著的电压应力。

相比之下，有源钳位正激转换器采用有源复位电路，由一个钳位电容和一个辅助开关（通常为 MOSFET）组成，连接在变压器初级绕组两端。在主开关导通期间，能量从初级侧传输到次级侧，为负载供电，同时在变压器磁芯中建立磁化电流。当主开关关断时，钳位开关导通，使磁化电流与钳位电容发生谐振。此谐振过程在复位变压器磁通的同时，将存储的能量回馈至功率路径，而非以热量形式耗散。

这种有源复位机制具有多项显著优势。

- **降低初级侧开关电压应力：**钳位电容限制了主 MOSFET 的漏源极峰值电压，使得可以使用额定电压更低、导通性能更优的器件。
- **零电压开关 (ZVS)：**主开关与钳位开关之间的谐振转换可在宽工作范围内实现 ZVS，显著降低开关损耗。
- **改善电磁干扰 (EMI) 性能：**软开关和受控电压转换减少了高频噪声的产生。
- **提高最大开关频率：**较低的开关损耗使得转换器能够在更高频率下运行，从而提高功率密度。

凭借上述特性，有源钳位正激转换器在简单的反激转换器与更复杂的谐振拓扑之间占据了有利地位。此类转换器广泛应用于中高功率隔离应用中，可满足对于效率、可靠性和热管理的关键设计要求。

ADI 有源钳位正激控制器

LT3752/LT3752-1 和 LT3753 是高度集成的高性能有源钳位正激控制器，可有效减少外部元件数量、解决方案尺寸和成本。这三款器件可为单 IC 输出功率高达 400W 的应用提供紧凑、多功能且高效的解决方案。通过将转换器输出串联堆叠，可实现更高的功率水平。

LT3752/LT3752-1 内置一个恒频反激控制器，用于生成辅助电源。后台管理电源可高效地为初级侧和次级侧 IC 提供偏置，无需从主正激变压器的辅助绕组生成偏置电源，从而显著降低变压器的复杂性、尺寸和成本。

后台管理电源可用于过驱动 INTVCC 引脚，以便从芯片外部取电、提高效率、提供额外驱动电流并优化 INTVCC 电平。

LT3752 可用于高达 100V 的输入电压，适用于电信中间总线转换器和工业电源等应用。LT3752-1 将工作范围扩展至 100V 以上，专为高压汽车电池系统和离线隔离电源而设计。LT3753 为低电压、大电流设计提供了更大的灵活性。

这些控制器具备多项特性，可简化有源钳位正激设计，包括可编程开关频率、用于快速瞬态响应的电流模式控制、精确的可编程伏秒钳位以及可靠的保护功能。当与次级侧自驱动同步整流结合使用时，这些控制器能够以极少元件数量实现高效隔离电源解决方案。

自驱动同步整流原理

基本概念

在自驱动同步整流方案中，次级侧 MOSFET 的栅极驱动信号直接取自变压器次级绕组上的感应电压。由于这些电压与初级侧开关动作天然同步，因此可为同步整流器的导通和关断提供自然时序，无需额外控制逻辑。

在有源钳位正激转换器中，变压器次级侧产生两个关键电压。

- **正激开关波形 (FSW)：**对应于主正激开关的导通时段。
- **钳位开关波形 (CSW)：**对应于变压器复位期间钳位开关的导通时段。

这些波形近似方波，非常适合直接驱动 MOSFET 栅极。通过将同步正激 MOSFET 和同步续流 MOSFET 的栅极适当连接到这些信号，各器件可在开关周期的正确时段内导通，从而模拟传统二极管整流器的行为，同时大幅降低导通损耗。

应用示例

图 1 展示了一款 5V、20A 有源钳位正激转换器，设计用于 36V 至 72V 输入范围。在此示例中，有源复位电路由一个 P 沟道 MOSFET (M2) 和一个复位电容 (C7) 组成。钳位电容电压会随占空比自动调整，以确保在所有工作条件下变压器都能完全复位。

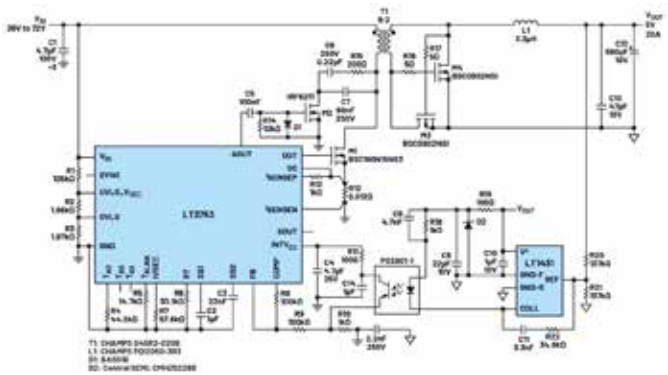


图 1: 采用 LT1431 的 5V、20A 有源钳位正激转换器，用于 36V 至 72V 输入范围，具备自驱动同步整流功能

由于复位波形近似方波，因此可直接用作次级侧 MOSFET 的栅极驱动信号。图 2 展示了用于驱动正激和续流同步整流器的 CSW 和 FSW 波形。

这种配置无需次级侧控制器或隔离式驱动器，在实现高效率的同时显著降低了成本和设计复杂性。

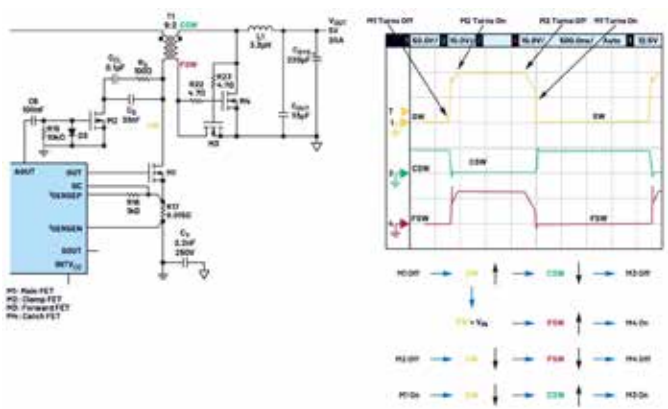


图 2: 自驱动同步整流波形

传统自驱动方案的局限性

尽管自驱动同步整流具有显著优势，但传统实现方式存在固有局限，主要源于其对变压器次级电压的依赖。具体而言，施加到次级侧 MOSFET 的栅极驱动电压与转换器输出电压成正比。这种依赖关系导致了两个问题工作区域。

- **高输出电压 (>5V)：**感应栅极驱动电压可能超过 MOSFET 的最大 VGS 额定值，从而影响长期可靠性或导致器件立即失效。
- **低输出电压 (<2.5V)：**可用的栅极驱动电压可能不足以使 MOSFET 完全增强，导致导通损耗增加和效率下降。

图 3 展示了这一局限，说明了在传统自驱动设计中栅极驱动幅度如何随输出电压变化。为确保在更宽的输出电压范围内可靠运行，需要对基本拓扑进行修改。

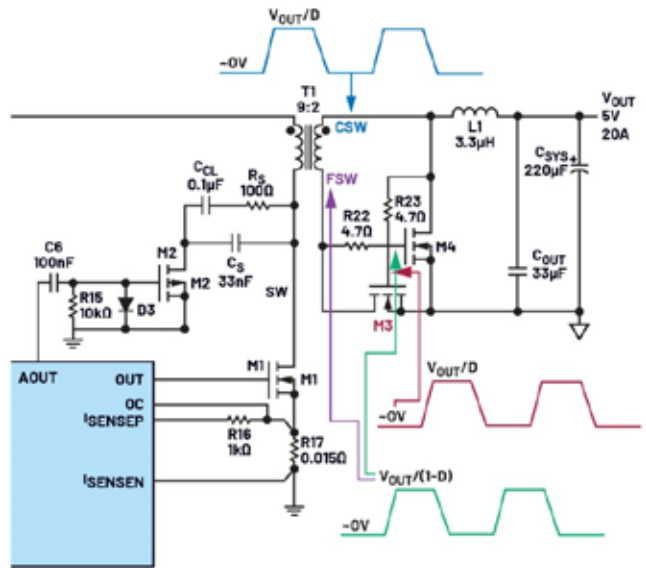


图 3: 在传统自驱动设计中，栅极驱动幅度随输出电压成比例变化

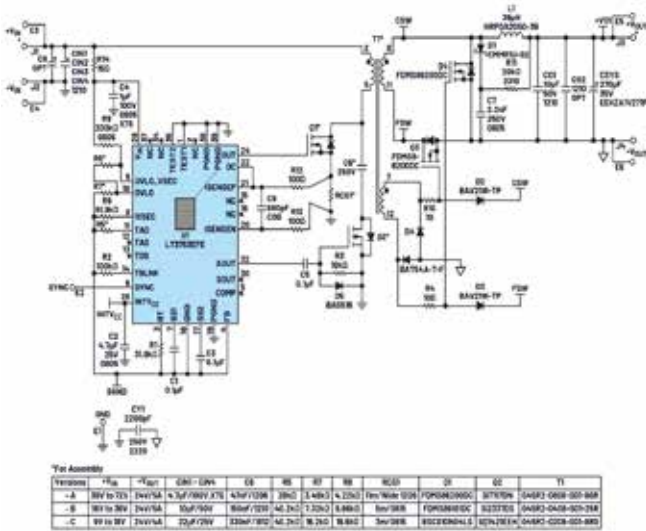


图 4: 这款 24V 输出自驱动正激转换器通过简单修改，利用 DC2324A 扩展了自驱动同步整流在高输出电压下的适用性

高输出电压应用的改进型自驱动方案

当转换器输出电压超过约 5V 时，首要任务是限制施加于同步整流 MOSFET 的栅源极电压。一个简单有效的解决方案是在变压器上增加一个专用于栅极驱动的辅助次级绕组。

通过仔细选择辅助绕组的匝数比，可以生成按比例缩小的次级电压，从而确保 MOSFET 栅极驱动保持在安全工作范围内。如图 4 所示，辅助绕组为正激和续流 MOSFET 提供栅极驱动电压。

在此配置中，连接到 CSW 和 FSW 节点的二极管可在适当时刻可靠地关断 MOSFET。由于辅助绕组电压低于主次级电压，二极管在正常工作期间保持反向偏置，从而确保正确的开关行为。

这种简单修改扩展了自驱动同步整流在更高输出电压下的适用性，且不会显著增加复杂性或成本。

低输出电压应用的改进型自驱动方案

低输出电压设计面临着不同的挑战。当 VOUT 降至约 2.5V 以下时，即使经过匝数比优化的次级绕组也可能无法提供足够电压来使同步整流 MOSFET 完全增强。在这种情况下，仅添加辅助绕组并不足够，因为导向二极管的行为会发生变化，无法维持适当偏置。

为解决这一局限，图 5 所示的改进方案引入了额外的小信号 MOSFET 和一个电感，以对可用栅极驱动电压进行整形和放大。这些元件有效地将栅极驱动幅度与输出电压解耦，同时保留了源自变压器波形的正确时序。

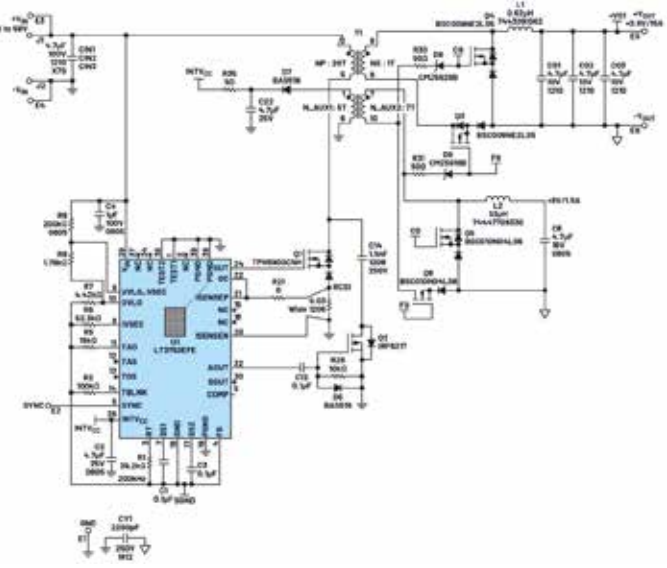


图 5: 这款 0.9V、15A 输出自驱动正激转换器可在超低电压、大电流应用中实现高效同步整流

这种方法可在超低电压、大电流应用（例如 0.9V、15A 输出转换器）中实现高效同步整流，否则二极管损耗将非常高。尽管上述解决方案增加了一定复杂性，但仍比实现全控式次级侧驱动电路简单且经济得多。

实际设计中的注意事项

在实现自驱动同步整流时，必须仔细考虑多个实际因素。

- MOSFET 选择：器件应具有低 RDS(ON)、适当的 VGS 额定值和快速体二极管，以最小化开关转换期间的反向恢复损耗。
- 变压器设计：绕组布局、漏感和耦合程度均会影响波形完整性和时序。必须仔细优化辅助绕组，以实现精确的电压缩放。
- 死区时间控制：虽然自驱动方案本身可提供正确时序，但寄生延迟可能导致短暂的交叉导通或体二极管导通。合理的布局和元件选择有助于减轻此类影响。

- 启动行为：在启动和轻载条件下，可用的栅极驱动电压可能会降低。确保在这些模式下稳定运行对于稳健设计至关重要。

密切关注这些细节可确保同步整流在实际应用中充分发挥预期的效率优势。

结语

自驱动同步整流是提高有源钳位正激转换器效率和电流能力的有力手段，同时可最大限度降低成本和复杂性。通过利用变压器衍生波形，设计人员无需专用次级侧驱动器即可实现高效隔离电源。

虽然传统自驱动方案仅限于狭窄的输出电压范围，但通过简单有效的修改，可将适用范围扩展到高电压和低电压输出。结合 ADI 公司的有源钳位正激控制器，此类技术能够提供紧凑且高性能的解决方案，充分应对现代电源转换挑战。

作者简介

Randyco Prasetyo 是 ADI 公司高性能电源 (HPP) 部门的产品应用工程师。他获得了印度尼西亚 Satya Wacana 基督教大学的电气工程学士学位，并在加州州立大学圣路易斯奥比斯波分校攻读电力电子专业。他于 2011 年加入凌力尔特（现为 ADI 公司的一部分）。

Michael Wu 是 ADI 公司的产品应用工程师。在高性能电源 (HPP) 部门工作，专注于单芯片降压、升压和降压 - 升压拓扑。他毕业于加州州立理工大学圣路易斯奥比斯波分校，拥有电气工程学士及硕士学位。

<https://www.analog.com/>

Bodo's 功率系统

《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及产品应用。

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！

更高功率，更多 Token: 固态变压器（SST）如何重塑数据中心基础设施

从交流配电向 800 V 直流配电架构的转变，正在重塑数据中心的供电基础设施，提升 Token 生成能力与营收潜力。更高电压等级的 SiC 器件正在简化 SST 设计，并使 34.5 kV 系统成为可能。与此同时，矩阵变换器（Matrix Converter）作为级联 H 桥（CHB）架构的一种有力替代方案，正逐步走向实际应用。

作者：Ehab Tarmoom，Microchip Technology 公司
大功率解决方案事业部应用工程经理

超大规模数据中心运营商（Hyperscalers）正在转向采用固态变压器（SST），以提升 AI 数据中心的算力表现并实现营收最大化。AI 数据中心越来越多地被比喻为在推理过程中生产 Token 的工厂——Token 即代表算力的产出。AI 工厂的 Token 生成吞吐量受限于可用电力，并与其营收潜力直接挂钩。

从电网到芯片的全链路效率最大化

与存储、网络和边缘计算负载不同，AI 与现代高性能计算（HPC）负载的功率需求仍在呈指数级增长。随着单颗 GPU 功耗和同步运行的 GPU 数量持续增加，单个算力机柜的功率将从数十千瓦快速攀升至数百千瓦，并最终达到 1-2 兆瓦。由于可用电力终归有限，算力的产出也将受其约束。将电网到 GPU 之间的整体效率提升到最高，不仅可以降低基础设施投资和运营成本，更关键的是可以将算力容量推向最大，从而带来更高的运营收入。

Token 生产吞吐量以每兆瓦每秒 Token 数（TPS/MW）来衡量；与之对应的另一项指标是每瓦 Token 数（TPW），用于在 Token 层级评估能效。这两项指标都将 Token 生成量与电力消耗直接挂钩。TPS/MW 通常用于数据中心容量规划，而 TPW 则更多用于驱动硬件级与系统级的优化。部署 800 V AI 数据中心架构的目的，正是要把可用于 Token 生成的电力做到最大化，也就是将从电网馈入到 GPU 1 V 以下供电之间整个配电与变换链路中的损耗降至最低。

全球 AI 数据中心建设的浪潮正在带动工频变压器（LFT）需求的急剧上升。目前 LFT 的交付周期已逼近 5 年¹，而近几年这一数

字还只有 18-24 个月，LFT 的产能已无法匹配 AI 数据中心的建设速度。由于设备短缺，美国本年度规划新建的数据中心中已有近一半被推迟或取消。除了供给侧的瓶颈以外，图 1a 中基于 LFT 的系统级方案本身也存在效率低、功率密度低、电能质量不足等问题，并且不具备支持电网调节的能力。

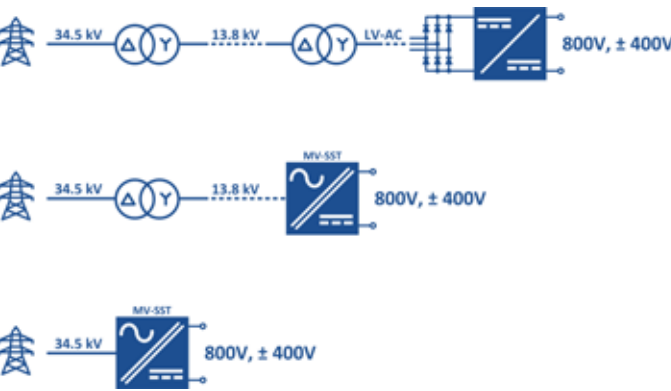


图 1: 电网到 800 V 架构的分阶段部署：(a) 基于整流器的方案；(b) 13.8 kV SST 方案；(c) 34.5 kV SST 方案

中压（MV）交流的电压上限因标准而异：IEEE/ANSI 标准下为 35 kV，IEC 标准下则可高达 72.5 kV。在 800 V 配电架构的初期部署中，34.5 kV 市电首先接入一台 LFT，降压至另一中压交流等级（例如 13.8 kV）；再经第二台 LFT 进一步降压为低压（LV）交流，例

如 480 V。该低压交流为三相整流器和 DC/DC 变换器供电，最终输出稳压 800 V 直流。在后续的部署中，整套架构将逐步过渡到基于 SST 的方案。

固态变压器（SST）

在 AI 数据中心的应用语境下，固态变压器是一种将中压交流（MV-AC）转换为低压直流（LV-DC，例如 800 V 或 ±400 V）的电力电子系统。市电与稳压输出之间通过中频变压器（MFT）实现电气隔离。SST 还可以具备双向功率流动能力，以支持电网稳定运行。在数据中心之外，例如微电网应用中，SST 也可用于生成不同线频、更高或更低电压的稳压交流输出，并可实现为多端口系统。

随着 AI 数据中心的规模迈向数百兆瓦乃至更高，场内电力设备的体积功率密度正在成为越来越关键的设计约束。原先在算力机柜旁就近放置配电机柜、以三相交流馈电的配电架构，将被 800 V 或 ±400 V 的直流配电架构所取代，从而为部署更多算力机柜腾出宝贵的占地空间。

数据中心灰空间（gray space）中使用的干式 LFT 典型功率密度约为 200 kW/m³；户外用油浸式 LFT 由于油箱和散热器提供了更有效的散热条件，功率密度更高，约为 450 kW/m³。三相 6 脉波和 12 脉波整流器的典型功率密度均为 600 kW/m³，DC-DC 变换器的典型功率密度则约为 400 kW/m³。以图 1a 所示方案为例，一套 3.5 MW 系统的总体积为 40 m³，对应功率密度 88 kW/m³；若不计 34.5 kV 的 LFT，则 13.8 kV LFT、整流器与 DC/DC 变换器三者合计体积为 32 m³，功率密度 109 kW/m³。在这一架构下，功率密度的进一步提升空间已十分有限。

目前 13.8 kV SST 的功率密度约为 100 kW/m³。与功率密度提升已基本触顶的 LFT + 整流器方案不同，SST 是一项新兴技术；行业领先企业预计，其未来的功率密度目标可达 1 MW/m³。

仅从三相交流配电迁移至 800 V 直流配电这一步，就可带来 5% 甚至更高的效率提升；而随着架构由基于整流器进一步过渡到基于 SST 的部署，效率还将进一步提高。据估计，图 1a 中基于整流器的 800 V 直流架构，电网到 800 V 的效率约为 95%；图 1b 中基于 13.8 kV SST 的架构有望达到 97%-98%；图 1c 中 34.5 kV SST 的方案则有望达到 98%-99%。

SST 架构

图 2 所示的级联 H 桥（CHB）是目前 SST 设计中最主流的架构。三相 CHB 中每一相均由若干单元（cell）以输入串联、输出并联（ISOP）的方式连接而成。前端串联部分采用阻断电压低于相电压的器件；各 CHB 单元的额定电压在求和后需要超过相电压的峰值，并留有一定裕量。在采用 N+2 冗余的 SST 设计中，13.8 kV 的 SST 每相可由 14 个级联单元构成，每个单元采用 1200 V SiC MOSFET，共同承担 8 kV 的相电压。各单元的副边并联，从而输出大电流、800 V 的稳压直流。一台采用 N+2 冗余、每相 14 个单元（合计 42 个）、单单元额定 40 kW 的 SST，整机功率可达 1.4 MW，最大连续输出电流可达 1800 A。

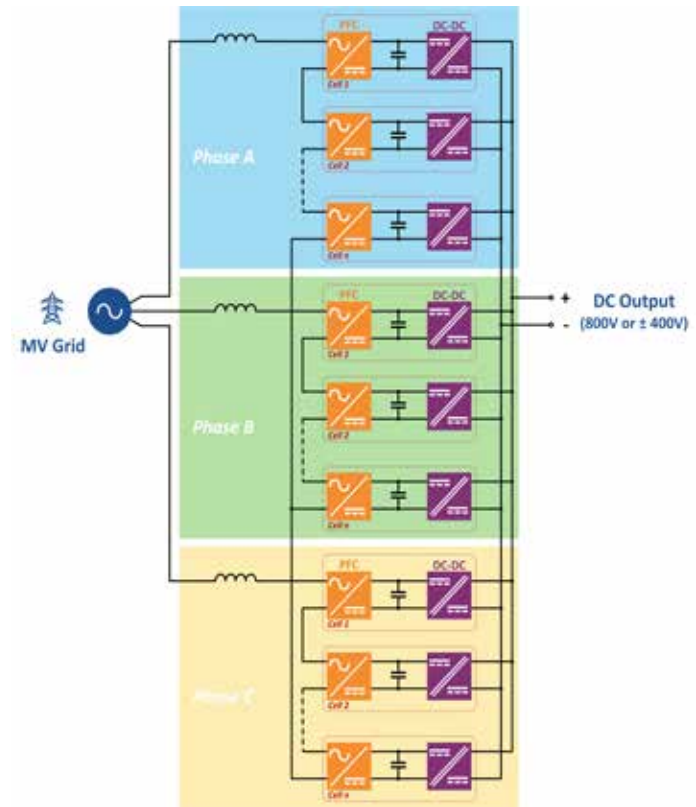


图 2: 由中压交流（MV-AC）馈入的级联 H 桥（CHB）SST

为了获得更大的电压裕量，并减少级联单元的数量，业内的趋势是采用更高电压等级的 SiC MOSFET，例如 1700 V 等级器件。采用 1700 V 器件后，每相所需的单元数量可由 14 个减少至 10 个。

CHB 之外，矩阵变换器是一种很有前景的替代方案。学术界对矩阵变换器已进行了大量研究，而 SiC 技术的进步正在使其有可能进入对功率密度和效率要求极为苛刻的高功率 SST 应用领域。开发一款稳健可靠的矩阵变换器仍面临诸多挑战，但其无需 DC 母线电容或电感等储能元件，这正是其能够获得更高可靠性的关键优势之一。

矩阵变换器的开关设计与级联 H 桥有所不同。CHB 中每个开关位置使用一颗或多颗单向 MOSFET 并联，以满足通流能力的需要；而在矩阵变换器中，每个开关必须工作于四象限模式，即既要能阻断正反两个方向的电压，又要能传导正反两个方向的电流。其实现方式是将 SiC MOSFET 以反向串联（anti-series）的方式连接，具体可采用共漏极或共源极结构。在低压、低功率应用中，可以将两颗 700 V 或 1200 V 的 MOSFET 以共漏极方式合封于同一分立式表贴封装内，此时需要为两颗 MOSFET 分别配置一路隔离栅极驱动。但在 SST 应用中，由于阻断电压高、对爬电距离和电气间隙的要求更为严格，分立式表贴封装通常并非理想方案。

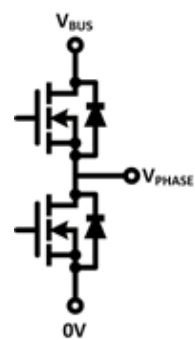
Microchip HV-D3 mSiC® 模块

Microchip 推出的 HV-D3 系列 3.3 kV SiC 功率模块，可同时为基于 CHB 和基于矩阵变换器的 SST 架构提供解决方案。如图 3 所

示, HV-D3 提供两种配置:一种是由两个单向开关串联构成的半桥结构,另一种是由共源极方式构成的单个双向开关。与共漏极结构相比,共源极结构的优势在于:每个双向开关只需一路隔离栅极驱动器即可工作,从而进一步降低了系统复杂度。这是因为该结构中两颗 MOSFET 的栅极和源极端子位于同一个隔离区域内。



(a)



(b)



(c)

图 3: (a) Microchip 3.3 kV HV-D3 SiC 功率模块; (b) 半桥结构; (c) 共源极结构

HV-D3 模块沿用了行业标准的 62 mm 封装尺寸,但具备更高的隔离电压等级。在中压 SST 应用中,功率模块必须在承受高压瞬态的同时保持安全的电气隔离。该类封装的行业标准隔离电压通常为 4 kV,而 HV-D3 的隔离电压等级达到 6 kV,并归入材料组别 1 (Material Group 1),相对漏电起痕指数 (CTI) ≥ 600 V。其端子与端子之间、端子与底板之间的爬电距离分别为 23 mm 和 28.3 mm。

3.3 kV HV-D3 SiC 功率模块的设计针对开发高压变换器(包括 SST)时面临的实际工程挑战。其性能特性与多样化的拓扑配置选项,可帮助基于 CHB 或矩阵变换器的 SST 设计人员满足各种严苛的中压应用要求。

www.microchip.com

Bodo's 功率系统

《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!

第三十三届中国国际电力设备及技术展览会
The 33rd China International Exhibition on Electric Power Equipment and Technology

EP Shanghai 2026
上海国际电力展

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-W6)
Shanghai New International Expo Centre, Shanghai, P.R. China (P1-N5/W4-W6)

主办单位
Host



2,200+
展商/展商

86,000
观众/观众

致力打造
全球化电力产业
生态圈

电网基石
Power Grid
基础设施

场景驱动N+1
Power Generation
发电设备/用户侧

海外拓展
Overseas
贸易平台

40
见证40年辉煌
赋能全面能源转型
Power Generation
见证40年辉煌

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
Electric Power Intelligent Manufacturing

同期展会 Concurrent Expos

ES Shanghai 2026
上海国际电力展

CDCE 国际数据中心展 2026
China Data Center Expo



EP电力展公众号



EP电力展官方平台

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

上海展览中心有限公司
Shanghai Exhibition Service Co., Ltd.

EP China Show

@epchina

@epchina

www.EPChinaShow.com

面向高功率密度电机驱动的三相 GaN QFN 模块

EPC91132 评估板是一款三相无刷直流 (BLDC) 电机驱动逆变器板, 采用了 EPC33110 模块。该模块集成了三组单片氮化镓 (GaN) 半桥, 每组半桥都内置了栅极驱动器、自举电路 (bootstrap) 和电平转换器 (level shifter)。其外形尺寸专门针对人形机器人的小型关节以及 20 mm 无人机电机进行了优化。

作者: Marco Palma, Efficient Power Conversion (EPC) 市场与系统副总裁;
Simone Scano, EPC 应用工程师

氮化镓 (GaN) 功率器件正在推动新一代高效率、高功率密度电机驱动系统的诞生, 使电机驱动逆变器能够在更高的开关频率下工作。因此, 基于 GaN 技术的电机逆变器可以实现远高于 100 kHz 的开关频率, 同时降低导通损耗和开关损耗。这些特性带来了更小尺寸的无源元件、更高的效率以及更紧凑的系统设计。对于小型电机来说, 这些特性尤为重要——例如装在中小型无人机以及人形机器人手臂中的电机。这类电机的电感非常小 (仅几十 μH), 电阻也很低 (仅几百 $\text{m}\Omega$), 而 GaN 器件更高的开关频率能够支持更高带宽的电机控制, 从而获得更优的动态性能与效率。随着小型化需求的不断提升, 将逆变器的核心功能在 GaN 集成电路中实现单片集成, 已经成为一项严格的要求。尽管这种单片集成对半导体厂商而言是一项巨大挑战, 但它能让设计人员简化电路布局和应用板设计。

EPC91132 介绍

EPC91132 参考设计板是一款完整的平台, 专为人形机器人关节及小型无人机应用而设计。该板支持 10 V 至 60 V 的宽直流输入电压范围, 可适配机器人和无人机中常见的各类电源。如图 1a 所示, EPC91132 集成了一台完整电机驱动逆变器所需的全部功能模块, 包括微控制器、稳压离线电源、直流电压采样、板载磁编码器 (用于转子轴位置与速度控制), 以及内置 30 A 过流故障触发的电流传感器 IC。整个逆变器由板载微控制器进行控制, 可通过专用接口烧录程序, 并通过 RS-485 端口实时进行运行控制。

EPC91132 的外形采用了 "分板式" (breakout board) 设计思路, 可适配两种不同的电机。保留外部 PCB 环形扩展板时, EPC91132 可装入 Lingkong MG8008E-i9 电机中, 用作人形机器人关节电机 (如图 2a 所示) [2]; 去掉外部 PCB 环后, 整台逆变器可放置在直径仅 23 mm 的小型电路板上, 可装入 Vertiq 23-06 220KV 和 23-06 2200KV 等无人机电机中 (图 2b) [3]。

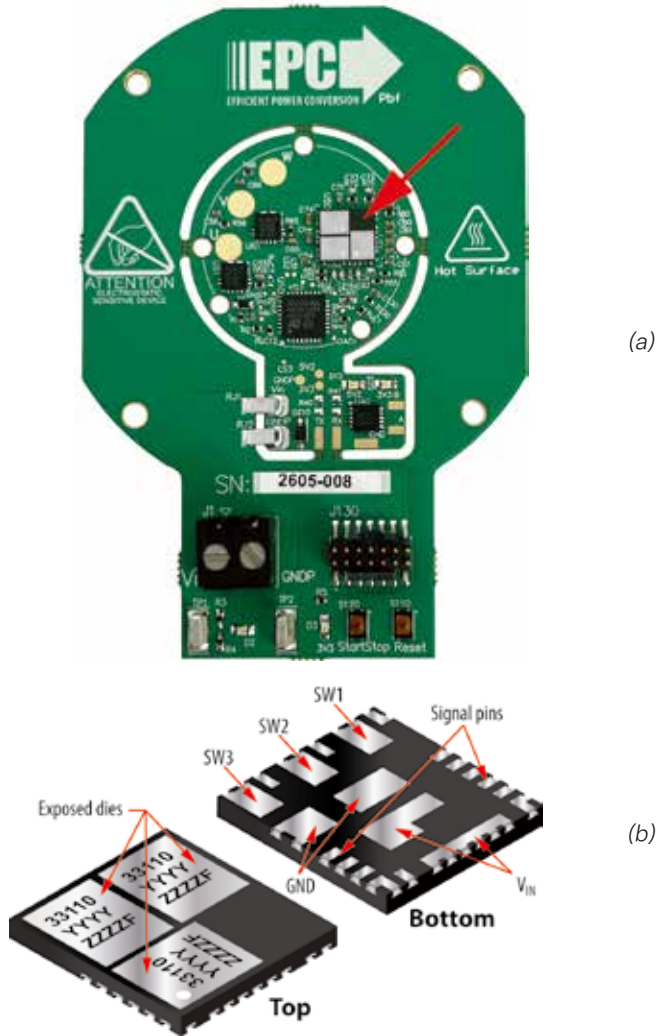


图 1: a) EPC91132 板概览——面向无人机及人形机器人电机关节的三相逆变器; b) EPC33110 模块的顶视与底视图

EPC33110 三相 GaN 模块介绍

EPC91132 的核心是 Efficient Power Conversion 推出的 EPC33110 模块。EPC33110 是一款基于氮化镓 (GaN) 技术的三相模块, 代表了面向电机驱动应用的电力电子领域最新的创新方案 (图 1b)。GaN 单片集成电路技术使 EPC33110 能够在紧凑的封装中提供卓越的性能。

得益于 GaN 功率器件采用横向导通结构, Efficient Power Conversion 的 GaN IC 技术能够将逻辑功能、栅极驱动器与功率 FET 集成在同一衬底上, 从而实现单片功率半桥芯片。EPC33110 将三组半桥共同封装, 在保持 GaN 器件优异的电气与热性能的同时, 对逆变器整体尺寸进行了优化 [4]。每组半桥都集成了栅极驱动器、自举电路和电平转换器。EPC33110 省去了对分立式栅极驱动器和晶体管的需求, 从而简化了系统设计。将关键功率元件集成在 $6 \times 6.5 \text{ mm}^2$ 的模块内, 使设计人员只需极少量外部元件即可构建系统。三组集成半桥 IC 的共封装显著提升了功率密度, 并依靠裸露芯片表面所提供的优异顶面散热能力, 带来了良好的热性能。

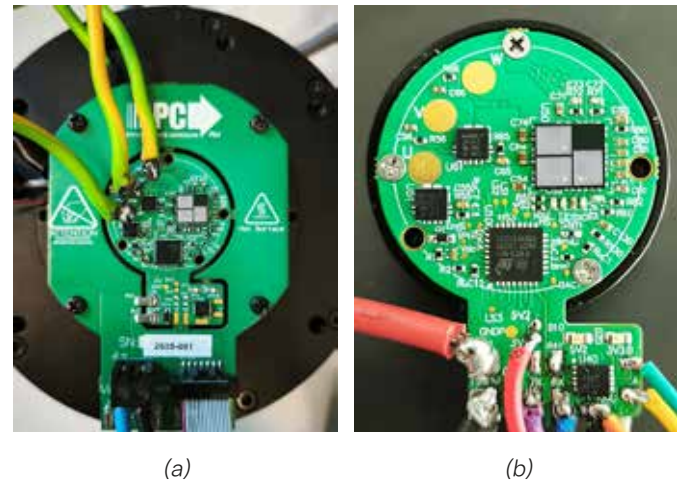


图 2: a) 带外部 PCB 环的 EPC91132 安装在人形机器人关节电机中; b) EPC91132 安装在无人机电机中

EPC33110 在装于人形机器人关节电机中的 EPC91132 上的性能表现

EPC33110 的性能在人形机器人关节电机应用进行了测试, 输入电压为 48 V, 并在测功机试验台上施加了最高达 11 ARMS (有效值) 的连续相电流负载。测试条件为 60、80、100 kHz 三种 PWM 频率, 死区时间为 20 ns, 电路板可持续输出 11 ARMS 相电流, 对应的温升约为 70°C 。测试分两种情况进行: 在 EPC91132 顶部加装电机外壳 (电机壳体充当散热器) 以及未加装外壳, 全程没有使用强制风冷。

图 3 展示了 EPC33110 相对环境温度的温升, 与可持续输出至电机的相电流有效值之间的关系。图中的每个数据点都是在达到热平衡 (约 10 分钟) 后采集的。测试过程中, 电机转速保持在 100 RPM。

测试中所用电机的扭矩—电流系数为 2 Nm/ARMS , 因此 22 Nm 的最大负载对应于逆变器每个桥臂 11 ARMS 的相电流。

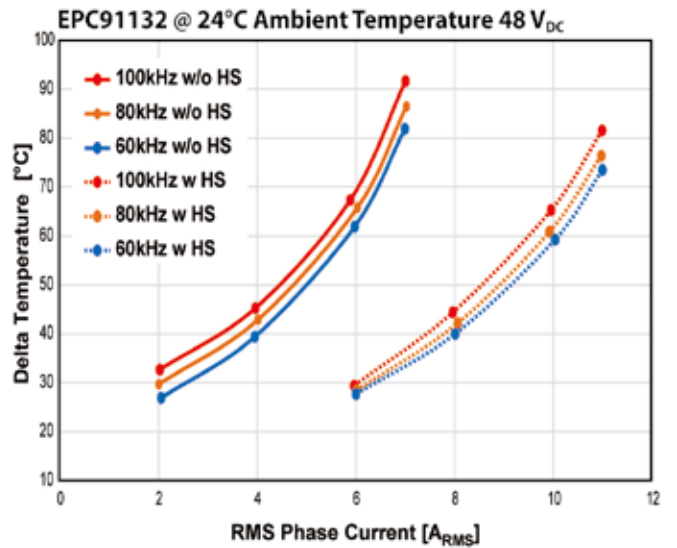


图 3: EPC33110 在 100 kHz PWM 下、用于人形机器人关节电机时的输出电流能力。DcBus = 48 V, PWM 频率 = 60、80、100 kHz。左: 未将电机壳体作为散热器; 右: 将电机壳体作为模块的散热器

两种情况下 (有 / 无电机外壳作为散热器) 的温度测量均通过在 EPC33110 模块顶部粘贴热电偶来完成。同时还使用了热成像仪进行温度记录; 在带电机外壳的测试中, 为了能够监测内部温度, 在外壳上开了一个方孔。

对于人形机器人关节而言, 自然对流是唯一可用的散热方式; 而在无人机应用中, 螺旋桨会产生强劲气流, 既提供推力, 也为整个系统提供有效散热, 从而进一步提升逆变器的输出电流能力。

EPC33110 在装于无人机电机中的 EPC91132 上的性能表现

EPC33110 的性能还在无人机应用进行了评估, 所用电机为 Vertiq 23-06 220KV, 并配装了一只 12 英寸欠驱动螺旋桨。测试转速范围为 1000 rpm 至 3400 rpm, 3400 rpm 是该电机在此负载条件、24 V 输入电压下所能达到的最高转速。

对于每一个转速点, 器件温度均通过在 EPC33110 模块顶部粘贴热电偶进行测量, 并在等待约 10 分钟达到热平衡后记录数据。同时测量了每个转速下电机所需的平均输入功率 (图 4), 并对每个转速下的螺旋桨扭矩进行了估算 (图 5)。

无人机电机以 100 kHz 的开关频率、20 ns 死区时间进行驱动。在环境温度为 26°C 的条件下, 器件的最大温升仅约 4°C 。

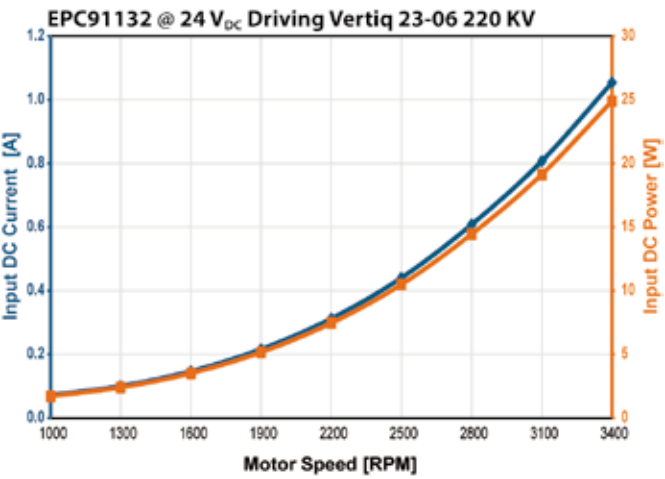


图 4：电机维持螺旋桨产生扭矩所需的直流输入电流和功率随电机转速的变化曲线

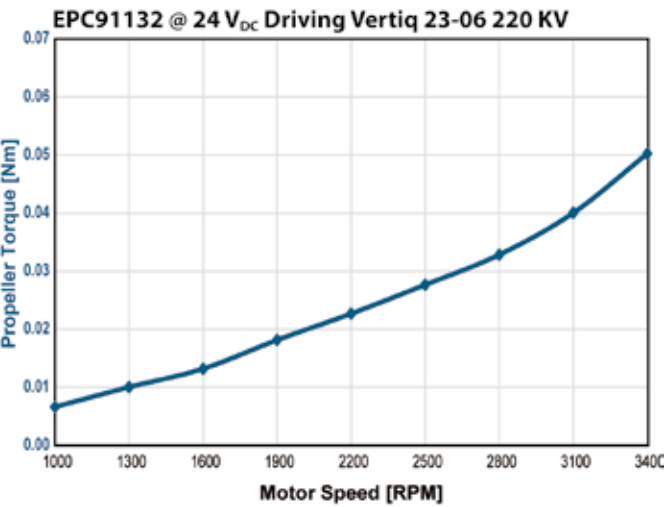


图 5：螺旋桨扭矩随电机转速的变化曲线

结论

EPC91132 是一款直径仅 23 mm 的小型电机驱动逆变器参考设计，面向人形机器人手腕、手部以及无人机等应用。EPC91132 的核心是 EPC33110 GaN 模块，基于 Efficient Power Conversion 的 GaN 单片集成电路技术。EPC33110 是一款采用 6×6.5 mm QFN 封装的紧凑型三相模块，集成了三组带内置栅极驱动器、自举电路和电平转换器的 GaN 半桥，针对电机控制进行了优化。模块仅需单一 5 V 电源供电即可工作，最高工作电压可达 80 V，典型导通电阻为 11.7 mΩ，同时兼容 3.3 V 或 5 V 的逻辑输入。

EPC33110 主要用于驱动无人机和人形机器人中常见的三相永磁电机。EPC91132 参考板可支持上述应用，输入电压范围为 10–60 V，并具备完整的电机驱动功能。

得益于裸露芯片所优化的顶面散热能力，EPC33110 每相可持

续输出最高 11 ARMS 的电流，这一指标已在装于测功机试验台上的人形机器人关节电机的稳态测试中得到验证。

参考文献

[1] 《GaN Power Devices for Efficient Power Conversion》第 四 版 —— 作 者：Alex Lidow、Michael de Rooij、John Glaser、Alejandro Pozo Arribas、Shengke Zhang、Marco Palma、David Reusch、Johan Strydom。

[2] LKMTECH, MG8008-i9v3 (2026 年 5 月 1 日)，<http://en.lkmotor.cn/ProDetail.aspx?ProId=265>

[3] Vertiq, 23-06 G1 Module (2026 年 5 月 1 日)，<https://www.vertiq.co/23-06-g1>

[4] 《Three-Phase Module Based on Monolithic GaN Half-Bridge ICs》，刊于《Bodo's Power Systems》2025 年 12 月刊第 24–26 页，作者：Federico Unnia、Marco Palma。

www.epc-co.com



第五届中国电力电子与能量转换大会暨展览会
中国电源学会第二十九届学术年会

The 5th China Power Electronics and Energy Conversion Congress and Exposition
The 29th China Power Supply Society Conference

旗舰会议

2026年11月5-8日
苏州国际博览中心会议区

技术展览

2026年11月6-7日
苏州国际博览中心展览区

大会报告

工业报告

新品发布

卫星会议

专题讲座

墙报交流

供需对接

专家参观团

技术报告

专题活动

展商论坛

交流联谊会



中国电源学会公众号 展会观众交流群

高校科研成果展区

聚焦电源、电力电子与能量转换等领域相关科研团队及其最新科研成果

增值服务

· 安排专业观众到访展台

· 优先推荐参与演讲

· 优先安排产学研交流

· 多渠道宣传推广

联系我们

帖老师:18102116703 (手机同微信)

第 4 代 650V 车规 IGBT：VCE(sat) 1.55V，兼顾 7 μ s 短路耐受



罗姆推出第 4 代 650V IGBT“RGA 系列”，面向汽车电动压缩机、高压加热器（PTC 加热器、冷却液加热器）以及工业设备逆

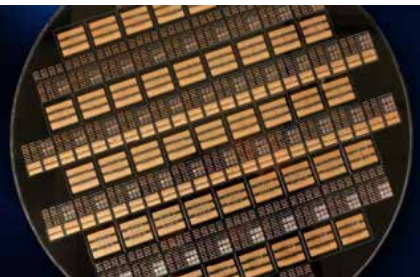
变器。公司称该系列在车规 650V 产品中实现了业界领先的低损耗特性，同时具备较高的短路耐受能力。

关键参数方面，导通压降 VCE(sat) 为 1.55V，Tj=25° C 时短路耐受时间为 7μs。罗姆通过重新设计器件结构，包括工艺和边缘终端结构，提高了电流密度，同时降低导通损耗与开关损耗。低损耗与短路耐受通常相互制约，这一代产品的设计重点正是在两者之间取得平衡。

产品阵容包括 TO-247N 封装 12 款（RGAxTS65HR / RGAxxTS65EHR）和裸晶圆 10 款（SG83xxWN），TO-247-4L 封装 12 款仍在开发中。TO-247N 产品及部分裸晶圆已可供货，可通过 DigiKey、Farnell 等在线分销商购买。罗姆官网提供 SPICE、PLECS 等仿真模型，后续还将开发 TO-263L 和顶部散热（TSC）封装的表面贴装型号。

www.rohm.com.cn

以晶圆作为封装基础的嵌入式功率平台：功率密度提升 3–5 倍



安森美在投资者日同步推出 Embedded Power Platform（EPP，嵌入式电源平台）。与传统封装不同，EPP

直接以硅晶圆作为封装基础，在晶圆级架构中整合并互连硅、碳化硅和氮化镓器件，可把 FET、驱动器和控制器嵌入同一封装，使封装从被动外壳变为系统性能的组成部分。

EPP 利用安森美标准 12 英寸硅晶圆制造能力，把关键集成工艺纳入晶圆厂的精密制造与过程控制，从设计初期即可对电气、热和机械性能进行协同设计与协同仿真。公司给出的目标数据包括：相较现有方案功率密度提升约 3–5 倍

（视应用而定），开发周期最短 4 个月。

早期应用示例中，面向 AI 的 EPP 固态断路器尺寸约缩小 50%，温度降低 20%；在电动汽车牵引逆变器中，功率密度最高可提升 4 倍，功率损耗降低 15%。平台同时通过降低寄生电感来减少电气损耗、支持更高开关频率。新闻稿未披露具体电压、电流和产品型号。

www.onsemi.com

600V/20A DBC 智能功率模块，封装比同类缩小逾 30%



意法半导体推出采用直接键合铜（DBC）技术的 SLLIMM Compact 系列智能功率模块（IPM），首款产品 STGI15C60S 已进入量产。该模块额定

电流 20A，集成完整的 600V 三相 IGBT 逆变桥，DBC 封装尺寸仅 18.8mm × 32.8mm，比现有基于 DBC 的 IGBT IPM 缩小超过 30%。

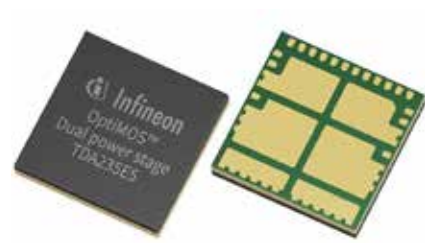
模块内部集成高、低边 IGBT 功率开关、两颗栅极驱动 IC 和一颗自举二极管。IGBT 采用沟槽栅技术，具备短路耐受能力，并搭配快速软恢复续流二极管；热优化封装支持顶面冷却，硬开关频率最高 20kHz。驱动电路和 IGBT 经过优化以抑制开关过程中的电磁干扰；高边参考输出

位于封装信号侧，便于自举电路布局。

保护与监测功能包括欠压锁定、故障时禁用运行的智能关断、用于热监测的温度传感器以及提供故障指示的比较器。模块为全隔离设计，隔离耐压 2000Vrms/min，采用 CDIPB-26L DBC 封装，面向空调、热泵、家用电器和工业驱动等中小功率电机驱动应用。

<https://www.st.com.cn/>

6 × 6mm 双相智能功率级：峰值 300A，同时支持横向与垂直供电



英飞凌推出 TDA235E5 和 TDA235E0 双相智能功率级系列，面向下一代 AI 加速器与垂直供电模块不断攀升的

功率密度需求。器件集成英飞凌 OptiMOS 6 MOSFET 与双相驱动 IC，封装尺寸为 6 × 6 × 0.8 mm³，功率密度超过 2A/mm²。

电流能力方面，器件支持最高 300A 峰值电流和 120A 总设计电流（TDC），可用于横向与垂直两种供电配置。较低的结至顶部热阻有利于液冷集成；与英飞凌数字多相控制器配合，可构建灵活、可扩展的多轨电源架构，适用于 AI xPU 加速器以及数据中心传统服务器 CPU。

英飞凌电源 IC 副总裁 Rakesh Renganathan 表示，客户正在设计将定义未来十年计算基础设施的 AI 系统，这两款器件提供了所需的功率密度、热性能和设计灵活性。产品可纳入英飞凌覆盖硅、碳化硅和氮化镓、从电网接口到处理器核心的 AI 服务器供电体系。工程样品现已开放评估。

www.infineon.com

美国本土 200mm 产线制造的第 5 代 GaN 器件启动出货



纳微半导体宣布，与格芯（GlobalFoundries）合作生产的美国制造第 5 代 GaNFast 技术于 2026 年 9 月

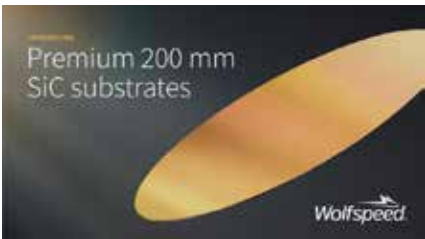
开始首批出货。纳微为量产开发了第 5 代 GaNFast FET 和功率 IC，生产地点为格芯位于美国佛蒙特州伯灵顿的 200mm 硅基氮化镓（GaN-on-Si）制造设施。

双方于 2025 年 11 月宣布建立长期战略合作，纳微将其专有的第 5 代器件架构针对格芯 200mm 平台进行了优化。首批产品系列预计包括 650V GaN FET，导通电阻覆盖 11mΩ、18mΩ、50mΩ、120mΩ 和 150mΩ 多个档位。按计划，2026 年 10 月提供内部样品，年底前向战略客户送样。

产品面向 AI 数据中心、高性能计算、工业电气化以及关键国家安全应用。纳微首席执行官 Chris Allexandre 表示，双方已为第 5 代及后续 GaNFast 产品建立起可信赖的美国本土制造来源。在 GaN 供应链区域化的趋势下，200mm 本土产线的启用对北美客户具有现实意义。

www.navitassemi.com

Premium 200mm n 型碳化硅衬底：微管密度低于 0.01/cm²



Wolfspeed 宣布新款 Premium 200mm n 型碳化硅衬底正式商业供应，扩充其 200mm SiC 材料产品组合。该衬

底微管密度低于 0.01 个 /cm²，相当于每片晶圆少于 3 个微管，该指标采用行业标准方法、通过 X 射线形貌分析验证；同时穿通螺位错密度更低。

随着 SiC 器件向更高电压和更大芯片面积发展，起始材料的缺陷直接影响良率和认证进度。Wolfspeed 表示，较高的裸晶圆质量结合已验证的晶圆形状与批次一致性，可在客户现有外延工艺中转化为更好的外延性能，帮助提升每批次良率、增

加首次设计成功率并减少认证延迟。

该产品现已可订购，配有专用产能和明确的产品扩展路线图。Wolfspeed 的 200mm 制造自 2022 年起持续运行，已积累四年以上的工艺改进与良率提升经验，公司称可根据需求在既有大规模 SiC 工厂内快速扩充产能。

www.wolfspeed.com

顶部散热 600V 超结 MOSFET：37mΩ/60mΩ，GTPAK 封装量产



AOS 推出两款 αMOS E2 600V 超结 MOSFET：AOGT037V60DE2（37mΩ）和 AOGT060V60DE2（60mΩ），均采

用顶部散热的 GTPAK 封装。顶部散热焊盘让热量直接从器件顶面导出，通过电气与热路径的协同优化提升热性能和长期可靠性，同时释放 PCB 空间、提高功率密度；鸥翼形引脚则提升板级可靠性。

器件内置快速体二极管以降低 Qrr，体二极管抗扰度达 di/dt = 1500A/μs，并具备较强的雪崩（UIS）能力、浪涌电流处理能力、短路耐受能力和宽安全工作区，设计上可防止动态条件下的自导通。

目标应用包括服务器、工作站、电信整流器、太阳能逆变器、电机驱动与工业电源，支持升压 PFC、图腾柱 PFC（慢速桥臂）、LLC 谐振、移相全桥等拓扑。两款产品均已量产，交期 16 周，千片单价分别为 6.00 美元和 3.00 美元。

<https://www.aosmd.com/>

1200V 碳化硅超级结 MOSFET 完成产品化验证



近日，瑶芯微电子在上海发布 1200V 碳化硅超级结 MOSFET。产品由瑶芯微与中国科学院院士、西安电子科技大学教授

郝跃团队联合研发，工艺平台与芯联集成协同开发，历经约 5 年技术攻关。郝跃院士表示，这是全球范围内率先完成产品化验证的碳化硅超级结器件。

公布的指标包括：器件耐压 1635V；室温比导通电阻低至 1.27mΩ·cm²，175° C 时低至 1.5mΩ·cm²；25° C 至 125° C 范围内导通电阻实现零温漂，175° C 时温度系数小于 1.2 倍；品质因数 BFOM 为 2.1 GW/cm²。

超级结结构通过 P 型柱与 N 型柱的电荷平衡改善内部电场分布，可在保持耐压的同时降低导通损耗。在硅器件上这一结构早已成熟，但在碳化硅上需要攻克高能离子注入、窄元胞设计与电荷平衡鲁棒性等工艺难题。首批产品计划面向数据中心高压直流供电和 AI 服务器电源，瑶芯微已与芯联集成开展量产合作。

<https://www.alkaidsemi.com/>

40V SGT MOSFET：5 × 6mm 封装实现 130A 与 1.9mΩ



MCC 推出 MCAC130N04Y，这是一款采用分裂栅沟槽（SGT）技术的 40V N 沟道功率 MOSFET，封装为热增强型

PDFN5060（5mm × 6mm），面向空间受限的大电流功率转换应用。

主要参数：VDS 40V，VGS ±20V；VGS=10V 时最大导通电阻 1.9mΩ；TC=25° C 时连续漏极电流 130A；总栅极电荷 129nC；结到壳热阻 1° C/W，功率耗散 150W，最高结温 175° C。SGT 结构可同时降低导通损耗和开关损耗，封装热设计便于将热量导向 PCB 或外部散热部件。器件无卤、符合 RoHS，湿敏等级 MSL 1。

目标应用覆盖 DC/DC 电源与功率级、BLDC 电机及泵、风扇控制、服务器与电信电源、电池管理系统、便携式电源站与储能，以及电动工具等大电流便携设备。产品现已供货，可直接向 MCC 或通过授权分销商购买。

www.solutions.mccsemi.com

SOT-227 封装 650V 超结 MOSFET 模块，导通电阻低至 14.8mΩ



Vishay 推出四款采用业界标准 SOT-227 封装、集成 650V 超结 MOSFET 的功率模块，包括单开关型 VS-FC50SA65、VS-FC100SA65、VS-FC150SA65，以及

集成 650V 碳化硅二极管的低边斩波型 VS-FC50LA65。

四款器件典型导通电阻分别为 44mΩ、22mΩ、14.8mΩ 和 45mΩ，TC=90° C 时连续漏极电流分别为 51A、82A、115A 和 42A，工作温度范围 - 55° C 至 +150° C。Vishay 表示，新一代超结技术在导通电阻与栅极电荷之间取得了良好折中，可在保持快速开关的同时降低功率损耗。SOT-227 封装可直接替换现有设计中的竞品方案，无需重新设计 PCB。

目标应用包括光伏逆变器中的 DC/DC 和 DC/AC 变换、制氢与燃料电池系统、HVDC 基础设施辅助电源、充电站、开关电源、焊接与切割设备、UPS、轨道交通电源以及 X 光、MRI 等医疗影像设备。四款产品现可提供样品和量产批量，交期 12 周。

www.vishay.com

65V 能量感知数字功率监测器，面向 48V 供电系统



Microchip 推出 PAC1761（12 位）和 PAC1861（16 位）两个系列的 65V

能量感知数字功率监测器，测量范围最高 65V，并具备 75V 尖峰保护，适用于 48V 配电系统。器件既能提供瞬时测量，也能累积能耗数据，帮助系统根据功率状况的变化作出响应。

在监测与管理功能上，器件支持针对电压、电流和功率越限的可编程告警，具备检测负载突变的阶跃限值检测，以及可配置的累积能量阈值，使系统可基于瞬时和长期功率行为进行管理。封装提供 VDFN-8、VDFN-10 和 MSOP-10，并包含车规可订购版本；引脚兼容的设计有

助于降低改版风险、缩短认证周期。

目标应用涵盖汽车、AI/ 数据中心、网络、工业、服务器、电信与 PoE。产品现已供货，MSOP-10 封装的 PAC1761T-3E/E3 和 PAC1861T-1E/3P 万片起单价 0.56 美元；配套 EV12R33A 评估板售价 49 美元，并提供 Python 命令行工具、Linux 驱动和通用 C 库。

www.microchip.com

第 4 代 X 电容放电 IC：待机功耗最多降低 1000mW



Power Integrations 推出第 4 代 X 电容放电 IC 系列 CAPZero-4，现已量产并向客户出货。CAPZero 技术在设备通电时断开

会持续耗能的放电电阻，在设备拔下电源后再通过该电阻安全释放 X 电容中的电荷，从而兼顾安全与待机能效。

CAPZero-4 可将系统空载与待机输入功耗降低最高 1000mW，器件自身功耗低于 1mW（230VAC 下低于 0.75mW），支持零瓦空载运行；工作温度 - 40° C 至 125° C，适用于线一中性线输入电容 100nF 至 6μF 的 AC-DC 转换器。器件与 CAPZero-3 引脚及封装兼容，可直接替换，迁移时只需选择

合适的外部电阻值以满足放电时间要求。

采用 CAPZero-4 的设计符合 IEC 60335、EN/IEC 62368-1、UL 62368-1 和 GB 4943.1 等安全标准，面向需要满足 ErP Lot 6 的家电、空载功耗低于 300mW 的适配器、显示设备以及户外等严苛环境下的工业电源。自 2010 年推出以来，CAPZero 系列累计出货已超过 10 亿颗。

www.power.com

3.3千伏碳化硅MOSFET实现量产出货



瞻芯电子于 2026 年 7 月宣布其 3.3 千伏碳化硅 MOSFET 产品实现量产出货，构建覆盖管芯、高压分立器件与大功率模块的完整 3.3 千伏产品矩阵，并配套自

研隔离栅极驱动芯片，形成器件加驱动的一站式高压方案。首类为 3.3 千伏碳化硅 MOSFET 管芯，导通电阻约 50 毫欧，可制成高压固态继电器，适配高压储能 BMS 场景。其次为 TO-247-4 高压分立器件，规格 3.3 千伏、50 毫欧，具备约 15.6 毫米加宽隔离间隙，满足严苛高压安规。第三为 XPak 半桥功率模块，3.3 千伏耐压，导通电阻约 2.5 毫欧，常温直流载流约 750 安、峰值脉冲电流约 1500 安，面向轨道交通牵引变流器、风光储中压并

网逆变器与大功率中压电机驱动等高可靠场景。据介绍，相关产品已获国际头部轨道交通厂商与国内头部固态变压器厂商的首批商业订单，标志着国产高压碳化硅在中高压应用中加速落地。

<https://www.inventchip.com.cn/>

国产首款ASIL-D三半桥车身预驱芯片



士兰微于 2026 年 7 月推出 SZ9310 三半桥低压电机栅极驱动芯片，据称系国内首款同时取得德国莱茵 TV ISO26262 ASIL-D 最高功能安全认证与 AEC-Q100

Grade 0 最高温区车规可靠性认证的车身预驱芯片。该芯片支持三路半桥拓扑，可驱动六颗外置功率 N 沟道 MOSFET，集成全覆盖硬件诊断电路与分层故障保护逻辑，满足整车 ASIL-D 系统安全设计需求，适配电动助力转向 EPS、整车制动系统等功能安全关键部件，可在车载极端工况下保障高可靠、高稳定运行。

据介绍，士兰微凭借全栈自研核心技术，填补了国内高功能安全等级车身驱动芯片的供给缺口，打通高端车载预

驱芯片国产化替代的关键环节。公司表示，其高功能安全产品线布局稳步推进，后续将陆续推出配套 PMIC、车载 eFuse 与车身姿态传感器等多品类芯片，打造完整的国产高安全车载芯片解决方案，为汽车电子产业链提供核心支撑。

<https://www.silan.com.cn/>

广告索引

Bodo's Wide Bandgap EVENT 2026 Bodo宽禁带技术大会 2026	17	EP Shanghai EP电力展	25	MITSUBISHI ELECTRIC 三菱电机(上海)有限公司	09
CPEEC & CPSSC 2026 中国电力电子与能量转换展	29	Hitachi Energy 日立能源	07	SEMIKRON DANFOSS 赛米控丹佛斯	封底
DigiKey 得捷电子	封二	LEM electronics 莱姆电子(中国)有限公司	目录	SwissSEM 赛晶亚太半导体	封三



应用领域：储能、输配电、光伏发电、其他发电、陆上和海上发电
电动汽车、轨交车辆、居民和商业用电、工业控制

赛晶半导体拥有国内稀缺、国际领先的自主芯片技术



IGBT芯片组

1050V/150A
1200V/100 - 300A
1700V/75A - 300A



ED封装IGBT模块

1200V/450 - 900A
1700V/450 - 900A



ST封装IGBT模块

1200V/200 - 800A
1700V/200 - 600A



BEVD封装IGBT模块

1200V/400 - 500A



EP封装IGBT模块

1700V/75A - 200A



SiC芯片

1200V/ 12 - 13mΩ
1400V/ 15mΩ



HEEV封装SiC模块

1200V/ 2 - 4mΩ



EVD封装SiC、IGBT模块

1200V/ 2 - 4mΩ
1200V/ 600A



FP封装IGBT模块

1050V/650A



TF封装IGBT模块

1700V/75 - 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普吉路58号
电话：0573-84819888
网址：www.swiss-sem.com



性能更上一层楼

专为现代变流器严苛工况打造



SEMiX[®] 3p+

100kW ~ 1MW



现代电网四大重要环节：源，网，荷，储，都持续对功率器件提出了更高的要求。在高功率密度，长时间可靠运行等方面全新SEMiX 3p+封装平台可以为用户提供更大的设计灵活性，性能显著增强，稳定性持续提升。

全新SEMiX 3p+采用低电感拓扑设计，优化散热性能，控制端采用了压接端子，配合多供应商芯片方案，可实现更高功率密度、简化整机装配工序，并提升整套系统运行可靠性。

产品特性

工作结温可达175°C

功率端子内部采用焊接，提升载流能力

模块电流拓展至900A

高抗湿性能

新增1700V芯片供应商

新一代1200V CAL7系列二极管

