GaNSense™ 半桥集成技术加速电力电子技术革命

Stephen Oliver(史立维)，市场和投资者关系副总裁

介绍：氮化镓巩固了滩头堡地位，并超越

在功率半导体的第二次革命五年后[i]，基于氮化镓 (GaN) 的移动快速充电器主导了旗舰智能手机和笔记本电脑机型，从传统功率硅芯片中抢占了市场份额。 这种下一代"宽能带隙"技术已经成为旗舰快速充电和超快速充电智能手机的主导技术，正在逐步渗透到主流移动设备的应用中，同时从抢滩市场突破到更高功率的消费电子产品市场 、太阳能、数据中心和电动汽车[ii]。 一个新的电源平台——高效的、功能丰富的集成 GaNFast™"半桥"——是高功率、高频应用的基本组成部分，在这些应用中，GaN 不仅可以提供更小、更快的 充电和降低系统成本的应用，而且到 2050 年预计每年可减少 2.6 吨二氧化碳[iii]。

基本构建块：全桥和半桥架构

术语"全桥或 H 桥"源自具有四个功率开关器件和一个中央"负载"的典型的电路图。 将一对堆叠的功率开关器件组合成一个"半桥"——一种基本的、可重复的、灵活的功率器件组合。 例如，在 EV 车载充电器 (OBC) 中，半桥用于输入功率因数校正 (PFC) 电路和隔离式 DC-DC 转换器级。 在电机驱动应用中，三个半桥用于创建一个三相逆变器。

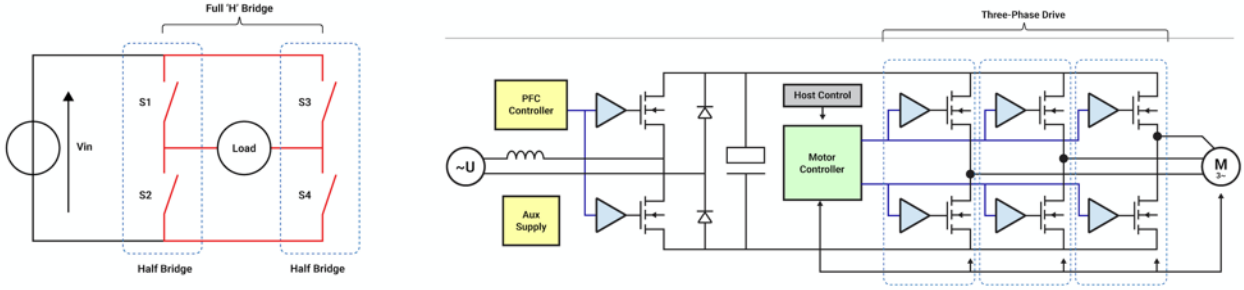


图1 半桥结构是电力电子电路的基本模块

速度#1：软开关优化了电源转换性能

高速——或者更确切地说，高开关频率——运行缩小了电源系统中"无源"元件（变压器、电容器、EMI 滤波器等）的尺寸、重量和成本。 然而，由于硅的高电容材料特性，简单地高速运行标准拓扑意味着极大的损失和可靠性风险。 "软开关"是一种控制技术，在该技术中，功率器件上的过电压和/或过电流在器件打开或关闭之前被消除，从而避免了与电容或开关速度相关的损耗。 下面的摘要详细介绍了软开关与硬开关的效率优势，并强调了 GaN 功率 IC 与传统 Si 分立 FET 的材料优势[iv]。

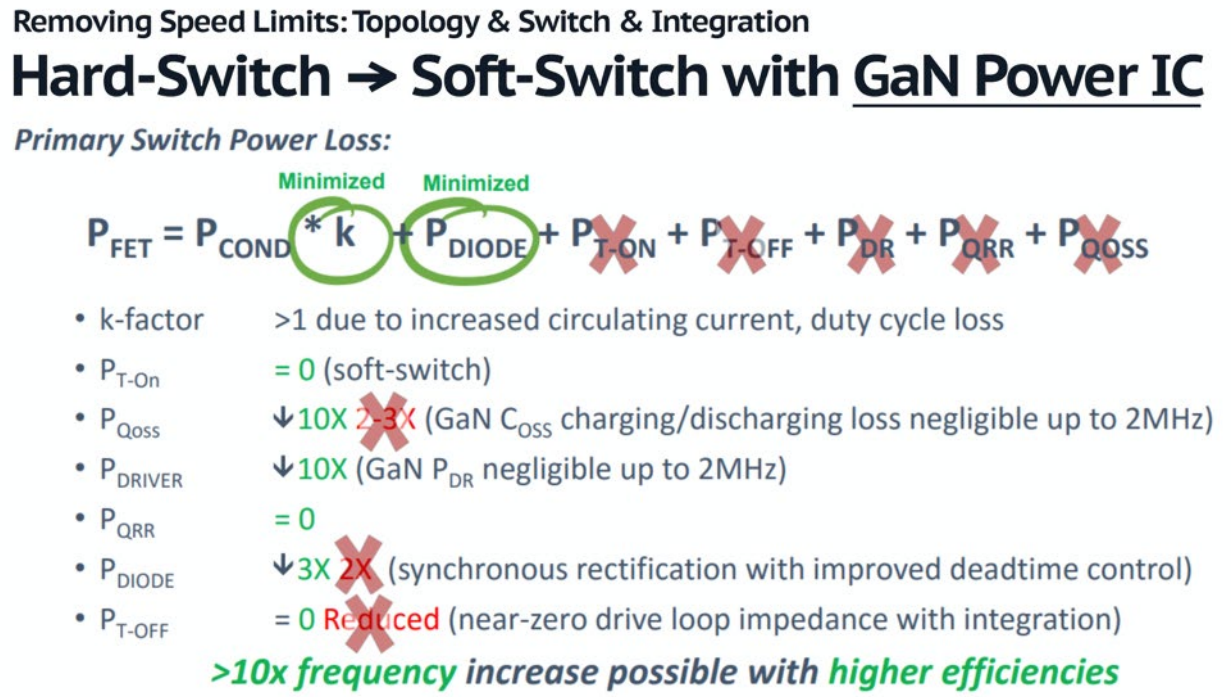


图2 在软开关拓扑中采用GaNFast™氮化镓功率芯片将避免开通损耗、二极管反向恢复和驱动损耗

I在移动快速充电器市场，从 Si 到软开关 GaN 的转变令人瞩目。 2019 年，同类最佳的 65 W 硅基 OEM 充电器（联想）实现了 0.85 W/cc 的功率密度，零售价为 46 美元。 同年，基于 GaN 的 65W"软开关、半桥"充电器（小米）达到 1.27 W/cc，零售价仅为 26 美元[v,vi]。 现在，基于 GaN 的设计主导了旗舰手机的快速充电，并且出现了一个新类别——"超快速"充电——使用 GaN 可以在不到 10 分钟的时间内将 5,000 毫安时的手机电池从 0% 充电到 100% 基于 150 W 充电器[vii]。

升级到更高功率、多千瓦的数据中心 AC-DC 电源承载多个软开关、半桥元件。典型设计分为两部分：第一部分用于电源 AC-DC 整流和"功率因数校正"(PFC)，第二部分"DC-DC"结合了隔离和降压功能。现代设计使用"图腾柱"(T-P) 结构，通过使用两个半桥电路结合 AC-DC 和 PFC 功能，其中一个半桥以低速运行来处理交流电源频率 (50-60 Hz)，另一个半桥以几百 kHz 或 MHz+ 来控制 PFC。 DC-DC 级是另一个半桥，通常在 LLC 拓扑中，或者有时是全桥以提供更高的功率，并且再次以高开关速度运行。显示了一个示例 3.2 kW"MHz"设计，可变频率边界模式 T-P PFC 运行在 500 kHz 和 1.5 MHz 之间，下游 DC-DC 运行在 1 MHz，提供令人印象深刻的功率密度，比典型的行业标准以瓦/立方厘米为单位高 2 倍[viii]。这是一种"全 GaN"功率总成设计，具有用于 PFC 和 DC-DC 初级的 650 V GaNFast 电源 IC，以及用于 DC-DC 次级的 200V GaN FET。

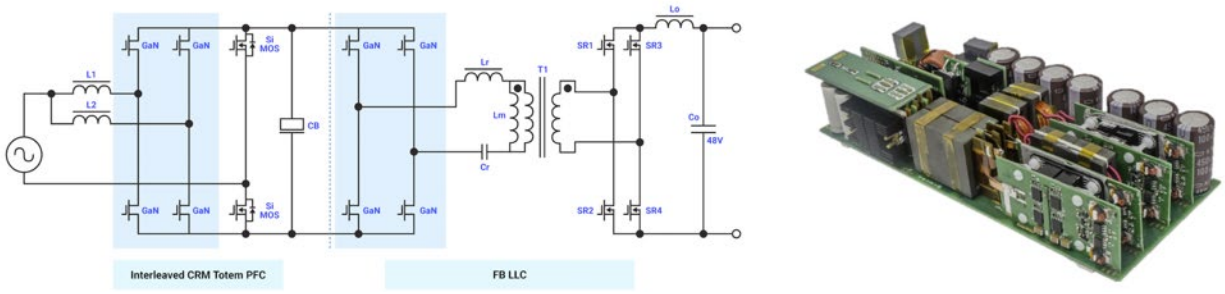


图3 使用氮化镓功率芯片的3.2kW服务器电源，在1MHz开关频率下运行，运用图腾柱 PFC和LLC，效率可达98%并实现4.4W/cc的功率密度

速度#2：电机驱动应用中提高硬开关速度。

如前所述，用于电机的现代"变速驱动器"(VSD)，如家用电器、HVAC、工业机械、电动汽车、机器人等，使用三个半桥来创建"三相"拓扑。 虽然在双向变换器中使用宽带隙材料（GaN、SiC）进行软开关方面已有先进的学术研究[ix]，但当今大规模生产的大多数电机驱动器都是低频（~6 kHz）和"硬开关"。即使在这种硬开关应用中，GaN 的低开关电容材料特性和零"反向恢复"电荷意味着可以提高开关速度，同时降低损耗[x,xi]。 在这个例子中，GaN 将总功率损耗降低了 78%，同时运行速度比传统的 Si IGBT 设计快 3 倍。

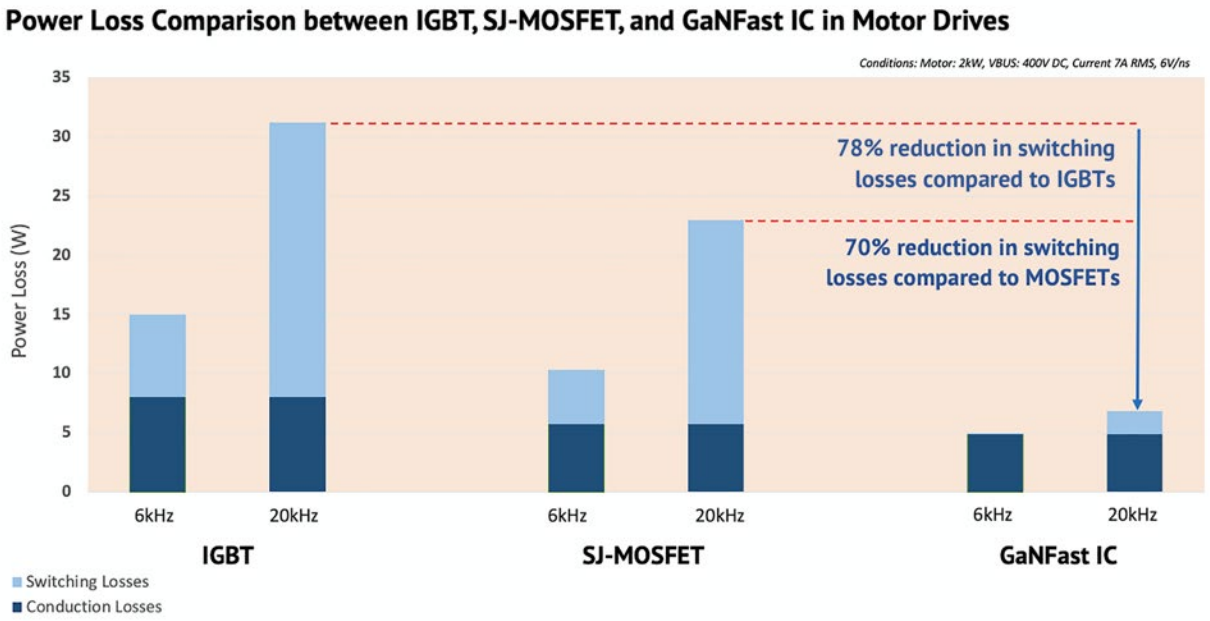
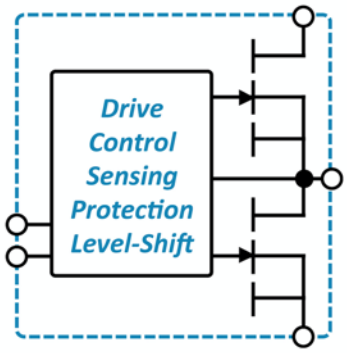


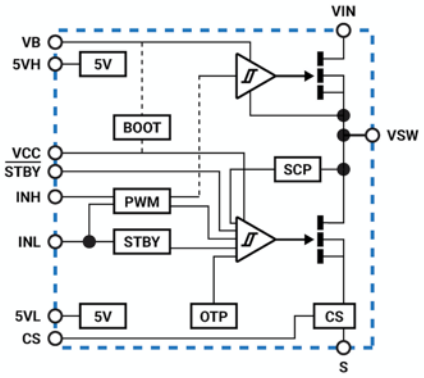
图4 GaNFast™氮化镓功率芯片可降低78%的总功率损耗，同时运行速度比传统的硅 IGBT设计快3倍

集成：介绍GaNFast半桥

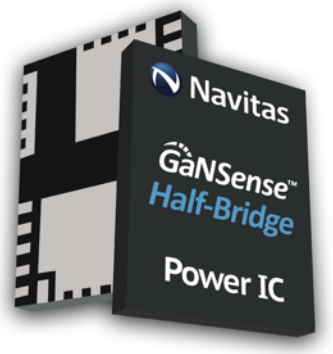
电源设计人员以前必须使用分立晶体管和无数外部控制器、传感器和外围器件来搭建半桥电路。现在，采用 GaNSense™ 技术的新型、易于使用、高性能的 GaNFast 半桥功率 IC 采用小型 6x8 mm 表面贴装封装，适用于从 200 W 电视/显示器到 1 kW 电机驱动器的广泛应用。 这些高度集成的下一代功率 IC 将两个 GaN 功率 FET 与 GaN 驱动以及控制、感测、保护和隔离相结合。



高层平框图



简化示意图



6x8mm PQFN 封装的 NV6247 GaNSense 半桥芯片

图5 GaNSense™半桥功率芯片集成了驱动、控制、电流感应和保护，以及电平信号转换，并采用了6×8mmPQFN封装

与复杂、成本高且可能不稳定的分立方案不同，GaNFast 半桥包含可简化设计的高级功能，例如标准数字逻辑输入、高边自举和电平转换，以及无损电流感测技术，以实现最高效率和最大机会实现'一版搞定'和最快上市时间的设计。 作为一款真正的 IC，过流、过温感测和自主控制、直通保护、2 kV ESD 和高达 200 V/ns的dv/dt能力等保护功能是标准配置。 与分立 GaN 解决方案相比，GaNFast 半桥可将器件数量和 PCB 面积减少 60%，消除不可靠的运行，提供 6 倍的"检测到保护"操作速度和更高的效率。 NV6247 (2x 160 mΩ) 和 NV6245 (2x 275 mΩ) 半桥是首款采用新 GaNSense 技术的产品，随后将推出更高功率的产品组合。

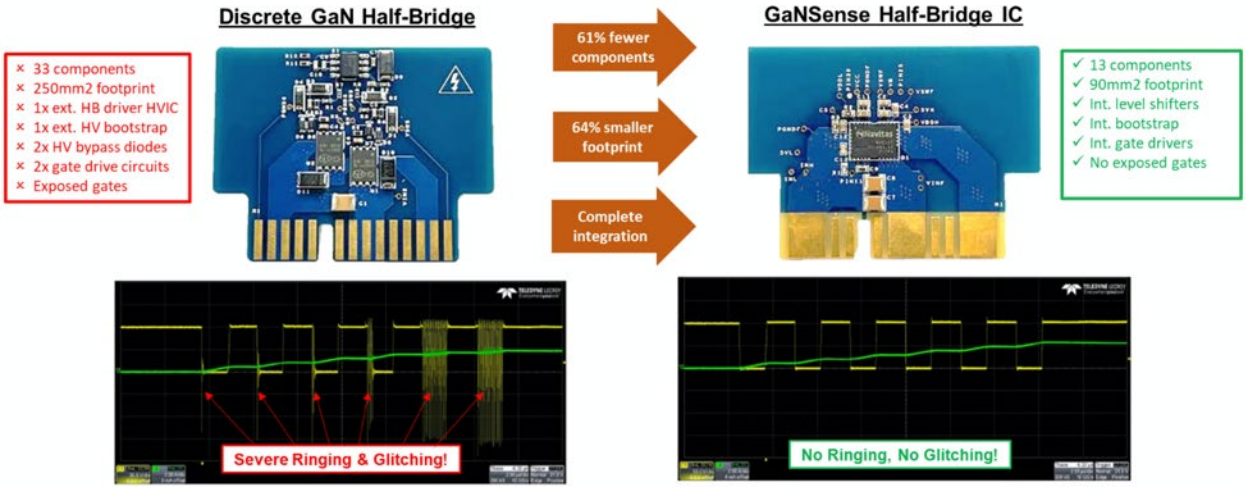


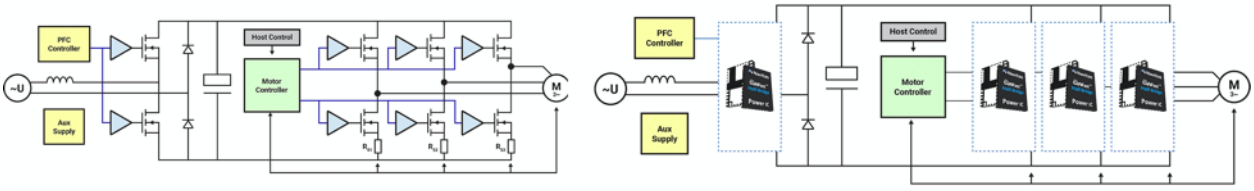
图6 GaNSense™半桥技术方案带来了最小的PCB面积及最少的器件数量，并在开关过程中不产生噪音和故障

下面是一个适用于 16 英寸笔记本电脑的 140 W 快速充电器示例，使用 GaNFast 半桥 NV62xx 实现 PCBA 尺寸 60 x 60 x 25 mm (90 cc) 和估计外壳尺寸 65 x 65 x 30 mm (130 cc) 和 1.1 W/cc 的功率密度[xii]。 图腾柱 PFC 使用 NV62xx 运行 x-y kHz，使用 NV62xx 在 z kHz 下运行非对称半桥 (AHB) DC-DC，在 90 VAC、140 W / 20 V 下实现 不带壳效率达93.5% - 效率提高了 1% 或 与分立 GaN 解决方案相比，节能高达 15%。



图7 采用了GaNSense™半桥技术的140W充电器，在运行非对称半桥（AHB）拓扑时效率可达93.5%，功率密度为1.1W/cc

标准电机驱动器在三相拓扑的每个低边开关器件中都有一个有损电流感应电阻器。 由于较高的温度，该检测电阻器在能量损失、PCB 空间、元件数量、成本和可靠性方面对设计人员来说是一个负担。 借助 GaNSense，这三个损耗点立即被消除，从而降低温度、节省更多能源以及更小、更可靠的系统。对于更高功率的系统，具有高速数字隔离器的单个 GaNFast 功率 IC 阵列可创建 kW+ 半桥构建块，支持 EV OBC、牵引驱动、大型空调、热泵等。



a) 传统的电流电阻的分立式三相电机驱动合方案

b) 集成了无损电流监测的 GaNSense 半桥整

图8 集成的无损电流检测和自动短路保护的半桥技术，可得到极为简单紧凑的电源方案

市场扩张和加速：

GaN 已在移动快速充电器中得到验证，Navitas 累计出货量超过 五千万台，GaN 现场故障报告为零，并提供业界首创的 20 年受限质保[xiii,xiv]。 现在，GaNFast 半桥加速了消费类应用、电机驱动、太阳能、数据中心和电动汽车电源的设计，估计每年有 140亿美元的市场机会。

来源参考:

i. "From Science Fiction to Industry Fact: GaN Power ICs Enable the New Revolution in Power Electronics", Oliver, Xu & Huang, article in Bodo's Power magazine, May 2017.
ii. "Introduction to Wide Band-Gap Semiconductors", Navitas website.
iii. "Electrify Our World™", Navitas 2021 Sustainability Report and CarbonNeutral® certification.
iv. "Breaking Speed Limits with GaN Power ICs", Kinzer, keynote at APEC, March 2016.
v. "GaN ICs Enabling Next-Gen ACF for Adapter/Charger Application", Huang, industrial paper, APEC, March 2019.
vi. "Here come the GaN Chargers", Oliver, conference presentation, Bodo's Power Conference, December 2019.
vii. "Navitas Powers World's Fastest Smartphone Charging Technology from realme at MWC 2022", Navitas press release, March 2022.
viii. "High-frequency and high-density design of all GaN power supply unit", Yu et al., UT Austin, IEEE conference paper, PCIM 2018.
ix. "Integrated Motor Drive using Soft-Switching Current-Source Inverters with SiC- and GaN-based Bidirectional Switches", Dai et al., conference paper, 2020 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE).
x. "Motor drive based on III-Nitride Devices", Battello, Oliver, US patent 8,390,241 B2 Mar. 5, 2013.
xi. "Autonomous GaN Power ICs Deliver High-Performance, Reliable Motor Drives", Hesener, article, Power Electronics News, May 2022.
xii. "GaN Half-Bridge ICs Enable Next Gen Mid-Power, Multi-Port, High-Density Charger Topologies", Ribarich, industrial paper, APEC, March 2022.
xiii. "Navitas Celebrates 50,000,000th GaN Shipment with vivo", Navitas press release, May 2022.
xiv. "Navitas Announces World's First 20-Year Warranty for GaN ICs", Navitas press release, March 2022.