



GaN（氮化镓）将推动电源解决方案的进步

作者：Michael Seeman，德州仪器

Dave Freeman，德州仪器

实现更加高效的电力转换是应对当前增长的人口和能源需求的一个关键技术目标。

能够有效推动这一目标达成的重要创新就是在电源应用中使用氮化镓 (GaN)。GaN 是一种已经成熟的半导体材料，广泛应用于 LED 照明，并在无线应用中发挥越来越重要的作用。目前，随着工艺的进步和缺陷率的不断降低，GaN 在交直流电力转换、改变电压电平、并且以一定数量的函数确保可靠电力供应的电子电源中的优势越来越明显。

基于 GaN 的开关功率晶体管可实现全新电源应用，与之前使用的硅材料 (Si) 晶体管相比，在高压下运转时，性能更高，损耗更低。GaN 的高频操作特性可以在保持高效率的同时提高性能。GaN 器件使用的是一种适合于现有硅制造流程的硅上氮化镓(GaN-on-Si) 工艺。如果尺寸更为小巧的 GaN 器件能够实现同样的电流功能，那么最终 GaN 晶体管就会和硅材料晶体管具有同样性价比。这将增大 GaN 器件对于大型工业设备到最小型手持类设备等各类系统的吸引力。由于它在这些方面的优点，GaN 将首先在更高性能电源设计中占据一席之地。这些设计在工作频率和精确开关特性方面要求严格。然而，GaN 在更高效电源转换方面的发展前景一定能够满足这方面的要求。

目前，电源设计人员正在重新思考他们设计的电路，试图寻找能充分发挥全新 GaN 晶体管潜能又能避免负面影响的方法来创造电源系统。思考这类问题时通常的思路是在现有组件中寻找解决方案—GaN 开关，Si 开关驱动器，高速开关控制器，以及功率电感器、变压器和电容器等均是总体设计中的部件。生产电源产品的集成电路 (IC) 制造商如果能用共同设计的器件提供系统级解决方案，甚至在模块封装中集成多个芯片，就能够大大提高了客户的设计可能性。

德州仪器作为行业领先的电源应用 IC 解决方案供应商，在提供这些类解决方案具有很大的优势。借助其创新型制造工艺、电路和封装技术，TI 不断为那些希望最大限度发挥 GaN 作用的设计人员提供所需器件。

GaN 在电源链中的位置

大多数常见的电子设备由开关模式电源 (SMPS) 供电运行, 这些电源将交流电高效地转换为直流电 (AC 到 DC), 并且将 110-120V 或者 220-240V 的分级线电压降压至 12V, 5V, 3.3V, 以及系统组件需要的更低电压。这些功能通常用于消费类电子设备和数据中心, 但是 SMPS 也被用于 DC 至 DC 转换, 并且用于生成可再生能源逆变器中的更高电压电平, 以及汽车电子设备, 工业设备和其它类型的高功率系统。

图 1 显示的是一个普通 SMPS 的流程图。一个输入电压, 通常为高压低频交流电, 被整流为直流电。线路滤波器用于阻断电源中逐渐形成的高频率, 阻止其传回源线路。一个高频电源开关—SMPS 的核心—将 DC 信号转换为一个脉冲电压波形。开关的输出被转换为所需的电压, 并被过滤为低压系统所要求的稳定输出电平。控制器用输出反馈提供脉宽调制 (PWM) 信号给电源开关驱动器, 从而提供稳压功能。信号的脉宽随负载要求的变化而增加或减少。

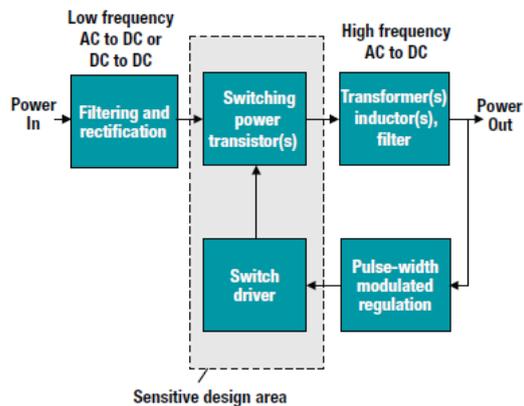


图 1. 开关模式电源的一般功能。

一直以来电源开关都是硅材料 MOSFET (金属氧化物半导体场效应晶体管) 所制, 但是现在正被 GaN FET 所取代。

根据系统要求的不同, 可使用很多种不同的设计拓扑结构, 对电源开关的安排也将有所不同, 从单 FET 升压转换器, 包含两个 FET 的设计, 最多到四个 FET 的全桥转换器。此开关和其转换器形成了一个非常灵敏的设计区域, 它们必须在控制器的指令下精确执行相关功能。如果不能做到这一点的话, 电源系统就会变得不稳定。此外, 已调制电压的快速上升和下降有可能导致噪音进入反馈回路, 从而造成电源系统不稳定。

对于所有电网连接的系统的一个要求就是电网内与系统外的隔离，以便为下游设备提供安全保护。另外一个注意点则是电源转换的高频运行一定不能干扰电网的电力传输，也不能在供电线路上生成噪声。GaN 器件满足了这一隔离要求，并且通过较高频率运行减少了电磁干扰。这个较高频率可以减少隔离变压器和输入滤波器的大小。

GaN 在 SMPS 系统中的应用优势

GaN 相较于硅在电源开关方面拥有的一个重要优势是其在高电压下更低的损耗。它的打开和关闭所需电能也更少。在过去几年间，Si 开关的性能已大幅提高，但在相同尺寸和高压下，GaN 提供的重大改进是 Si 不太可能达成的。目前，Si MOSFET 对于 GaN 来说有相当大的成本优势，但是随着时间的推移，这一成本方面的差异将会缩小。

GaN 开关器件支持宽范围的工作电压。它们使电源设计人员能够在保持极大范围输入和输出电压的所需频率的同时以较高频率运行，从而减小了解决方案的物理尺寸。GaN 最适合的应用往往是那些需要尽可能小尺寸的电源解决方案。

图 2 显示了 GaN 晶体管的基本结构。正如之前所谈到的，GaN 材料位于一块 Si 基板上。这种设计可以使我们在充分利用 GaN 的同时，也可以获得 Si 处理的数十年发展所带来的优势。其中一个优势就是较高的带隙电压。

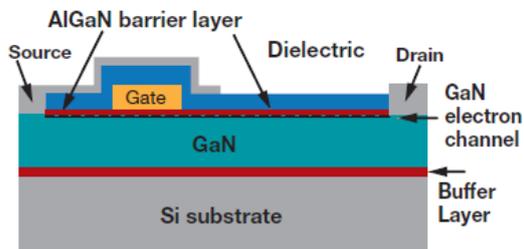


图2. 增强型模式 GaN FET 的横截面

半导体区别于其它材料的主要特性是带隙能—将材料从绝缘体变为导体所需的电压跳变。GaN 提供的 3.2 电子伏特 (eV) 的带隙能大约是 Si 所能提供的带隙能的 3 倍。理论上，更高的带隙意味着较高温度下的更佳性能，其原因是在物质变为导电前可耐受更多的热量。今后，这一特性有可能提升汽车、工业和其它高温环境中的 GaN 性能。

SMPS 设计中的 GaN 学习曲线

尽管 GaN 优势众多，这项技术才刚刚开始找到用武之地。之前 LED 和无线应用中的 GaN 让人们看到了将这项技术用于电源应用的希望。但

是，要把 GaN 用在功率 FET 中曾经需要重大的工艺和器件开发，而这些开发已经延缓了相关产品的发展。此外，全新 FET 与之前使用的 Si 材料器件间的不同使得 IC 供应商和系统设计人员不得不小心前行，逐步解决设计难题。传统 GaN 器件通常处于接通或耗尽模式，而 Si MOSFET 是一般情况下处于关闭状态的增强模式器件。为了提供针对 Si MOSFET 的直接替代器件，GaN FET 开关供应商或者重新设计他们的产品，使其可在在增强模式运行，或者使用另外的开关与其串联，以提供正常的关闭功能。

用 GaN FET 替代 Si MOSFET 只是重新设计的开始。GaN 晶体管的高频处理能力要求开关驱动信号具备更大计时精度，而这些开关对于封装、互连和外部源的寄生阻抗高度敏感。可高速开闭 GaN 开关的集成型硅基 GaN 驱动器已经推动着采用 GaN 的 SMPS 设计向前发展。成熟的 Si 处理可实现这些非常精确的、高频可调谐驱动器的开发。

例如，TI 的 LM5113 栅极驱动器曾经被设计用来控制处于中等电压电平的高端和低端增强模式 GaN 电源开关。此栅极驱动器集成了优化 GaN 开关性能的所需组件。这一集成不但减少了电路板空间，还有助于简化设计。除了用最小延迟来实现高精度驱动计时，此器件还提供重要保护功能，以实现 GaN 开关的高效、精确运行。例如，自举钳位将栅源电压保持在安全工作范围内；高电流下拉提升了 dv/dt 抗扰度，并且避免了低端的意外激活；单独的源/灌引脚优化了接通和关闭次数，从而实现高效率 and 低噪声；而快速传播延迟匹配在开关处于转换中时优化了死区时间。

针对启用 GaN 的 SMPS 设计的系统级解决方案

通过与快速、精确电源管理控制组合在一起，GaN 栅极驱动器极大地推动了启用 GaN 的 SMPS 设计的发展。然而，栅极驱动器本身所能优化的程度有限。在驱动器和 GaN 开关之间，即使是最短的走线也会可能因为设计的变化产生延迟。

未来的 IC 解决方案将需要控制因布局布线和无源组件的设计所导致的易变性问题，因为这对驱动器与开关的耦合很重要。由于这两类器件基于属性完全不同的材料，未来将不太可能把它们集成在单个芯片（裸片）上。然而，集成了 FET、驱动器以及为开关提供支持的无源器件的单封装模块（图 3）将会极大地减少 SMPS 的大小和组件数量。物理尺寸的减少也将意味着系统制造成本的降低，以及基于 GaN 设计的高效率。

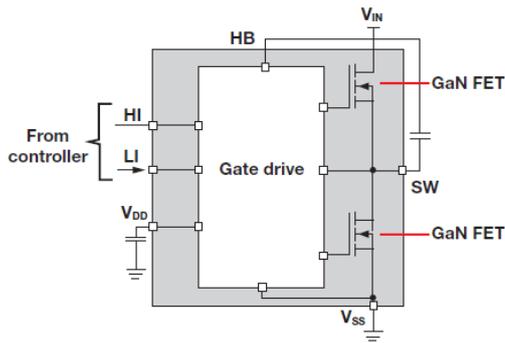


图3.集成 GaN 开关栅极驱动器模块。

降低设计复杂度与缩小解决方案尺寸同样重要。一个驱动器开关模块将芯片间的连接线减小到尽可能短的长度，从而最大限度地缩短了延迟时间，并减少了那些使开关脉冲输出失真的寄生阻抗。一款设计良好的模块将大大减少多芯片设计的寄生因子，其中的某些因子会减少一个数量级，甚至更多。

提供系统级解决方案的另外一个重要因素是控制器-稳压器，这款器件必须在 GaN 支持的高频率下运行，必须实时地对输出电压的变化做出响应。其时间分辨率也必须符合精确脉宽要求，以最大限度地减小死区时间内的传导损耗。幸运的是，现有的数字电源控制器可以满足这些要求，从而提供可被用于系统其它位置的额外性能和 I/O 功能。TI 提供数字电源控制方面的全面专业知识，这些知识与公司的电源技术一起，提供针对 GaN 稳压和受控开关的系统级解决方案。

另外还需要针对基于 GaN 设计的磁性元件，因为目前磁性元件仍然在硅材料所实现的频率下工作。TI 与电源制造商和 GaN 研究机构通力协作，不断地敦促磁性元件供应商提供这些组件，但是这项工作在很大程度上取决于市场的需求。随着基于 GaN 的电源组件不断上市，并且供应量在不断的增加，磁性元件供应商将会收到客户的大量请求，要求他们引入支持这项技术的组件。一旦条件成熟，业界就能够在很多电源应用中充分利用 GaN 所带来的优势。

针对未来需求的 GaN 创新

全球人口数量的不断增长和快速发展，对电力的需求持续增加，与此同时，环境问题也需要我们在提高能源使用效率方面做出更大努力。随着我们不断地尝试满足这些需求，我们的家园将从这些创新中受益，帮助我们更高效地传送、转换和使用电力资源，而这些技术也将改进和提升我们的生活品质。

GaN 就是这样一种创新，通过最大限度地降低电力转换方面的功率损耗，它必将提高我们的能源使用效率。为了应对 GaN 所带来的挑战，TI 正在充分利



用其在电源产品和技术方面的领先优势以及在研发方面的承诺，创建解决方案，来减少高频电源转换中出现的复杂问题。这些差别化的解决方案将有助于简化设计、节省空间并减少组件数量，同时也最大限度地减少那些影响高效运行的信号延迟和杂散干扰。

随着具有这些应用优势的产品的出现，SMPS 开发人员将能够加快高性能系统的上市时间。这些系统的成功应用将推动 GaN 进入高功率、工业级终端设备，以及低功率大众市场等全新的应用领域。系统级解决方案的模块和其它关键部件将帮助我们充分发挥 GaN 技术在提高电源效率方面的作用。

如需了解更多信息，敬请访问：

[TI 的 GaN 网页](#)

[TI 电源管理解决方案](#)