



Niobium Nb

报告

固态变压器
纳米晶体与铁氧体和非晶对比

固态变压器



定义

固态变压器是一种可提供双向功率流动、无功功率控制和谐波抑制功能的新型紧凑型电功率转换器。固态变压器将多种电力电子部件和控制回路组合到一个装置中。



功能

固态变压器通过作用于变压器的初级和次级来主动调节电压/电流。通过在特定的变换器电路中引入无源变压器，它通过较小的线圈提供电气隔离、全功率和紧凑的设计。



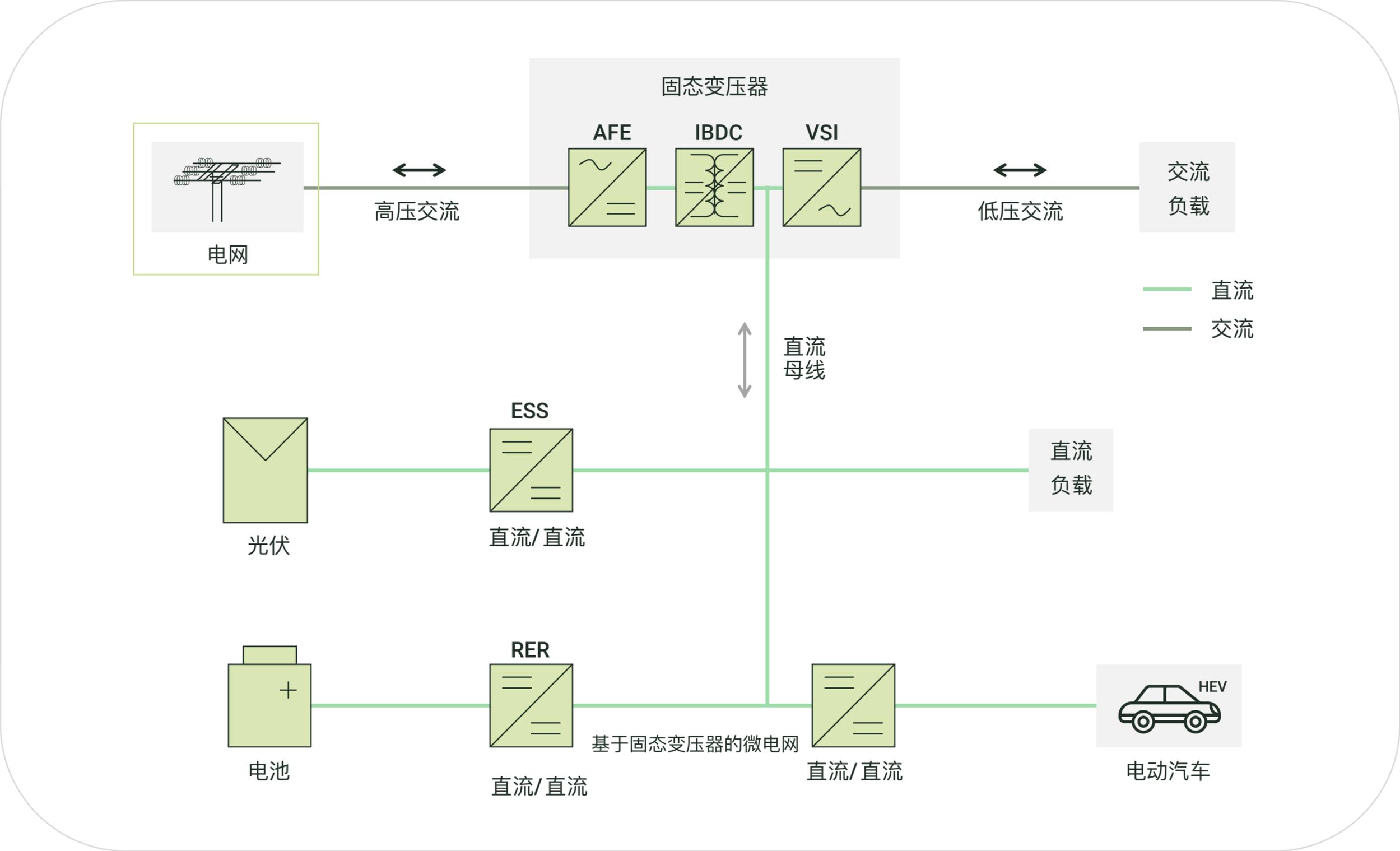
应用

由于固态变压器具有交流和直流电网协调以及异步网络互连功能，因此可在诸如数据中心、电力牵引系统和配电站等应用中取代无源低频变压器。



行业

固态变压器凭借自身优势广泛用于诸如发电（可再生能源）、配电（智能电网）和运输（电动汽车、电动船、火车、航空航天等）行业。





为什么使用固态变压器

电流备选方案

固态变压器是智能电网的基础组成模块

常规变压器

工作频率低导致其尺寸和重量较大
功能僵化：缺乏可控性
可提供电压调节和电流隔离功能
复杂程度低、可靠性高和成本低

固态变压器

体积和重量小
交流/直流运行损耗小且效率高
功能灵活：
可上下双向调节电压
可提供辅助控制功能
零磁致伸缩且噪音不超过 20 千赫兹

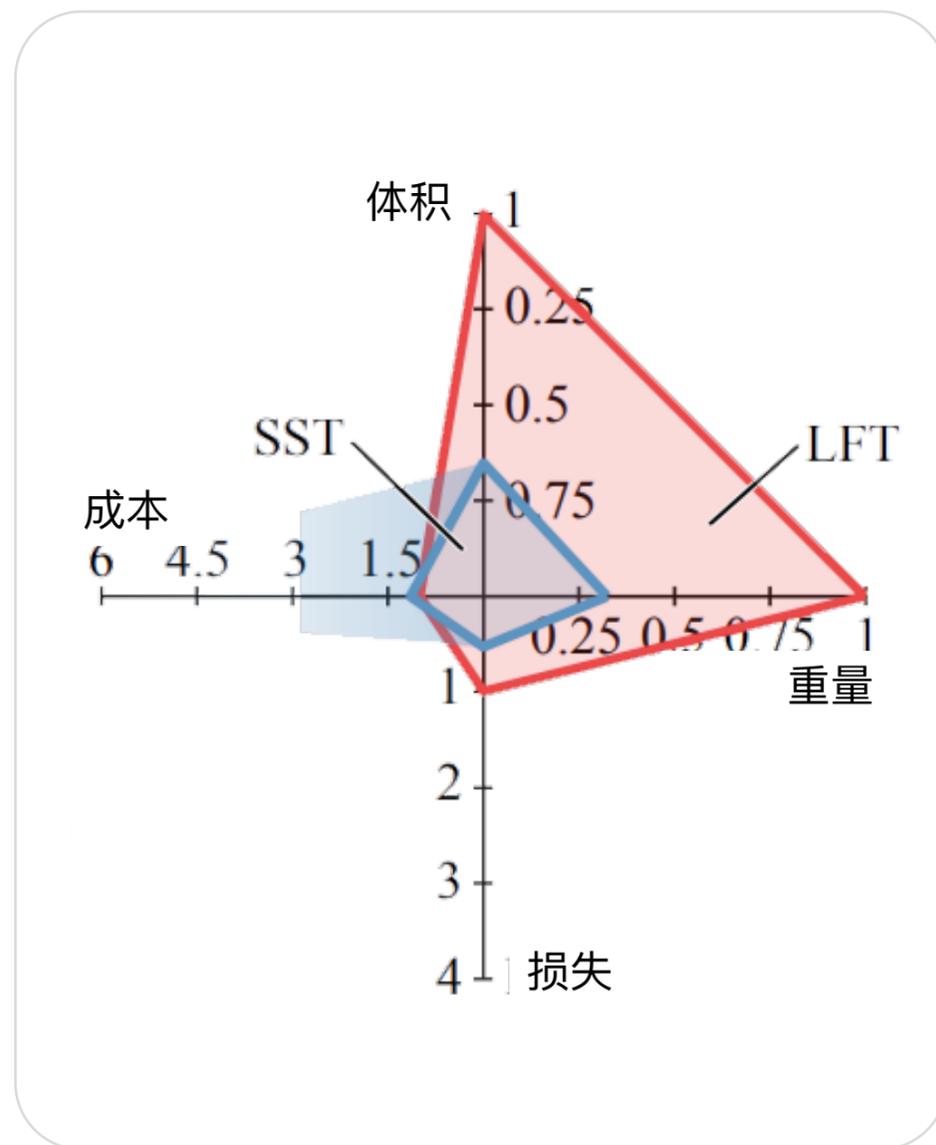
对于直流
智能电网

适用范围小

适用范围大

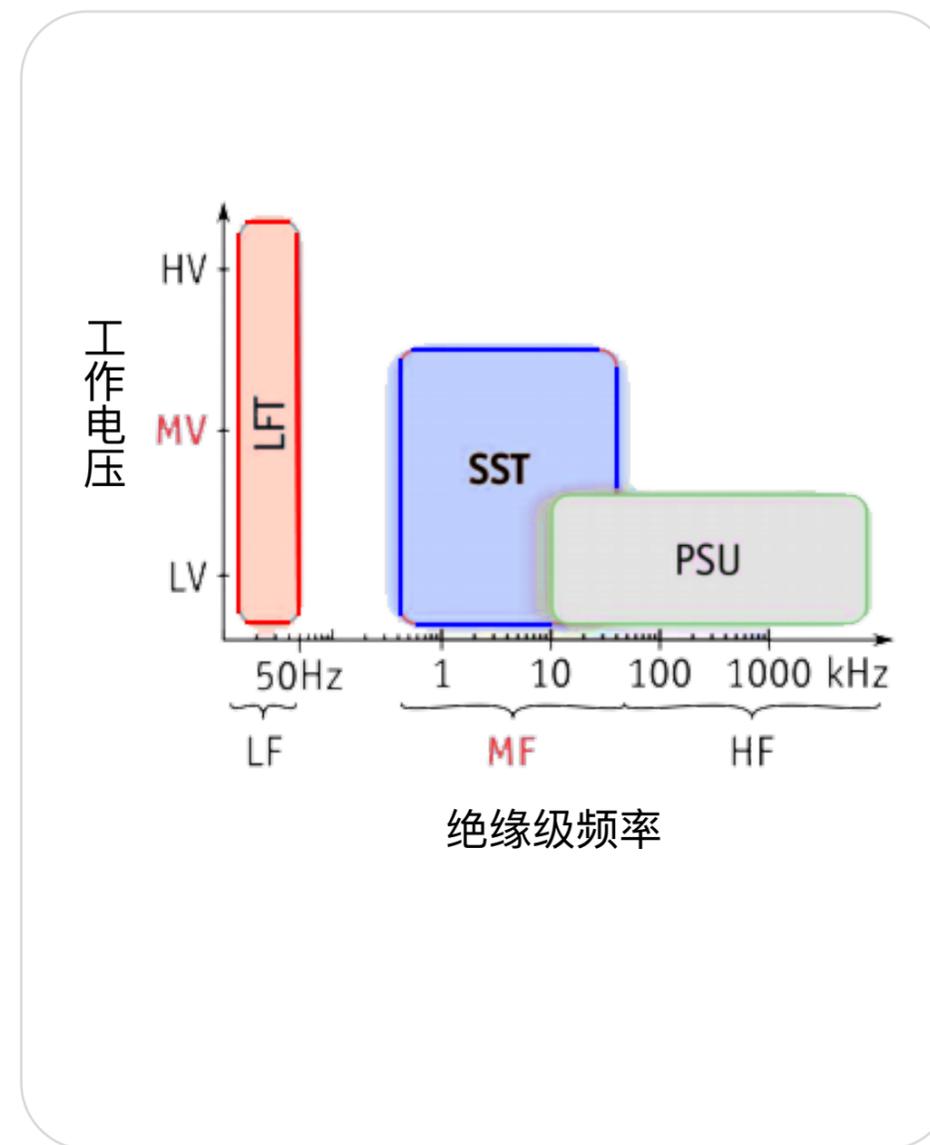
为什么使用 固态变压器

交流/直流运行中低频变压器与
固态变压器性能对比



胡贝尔 (Huber)、乔纳斯 (Jonas) 和科拉尔 (Kolar)、约翰 (Johann)。(2014)。1 MVA 10 kV / 400 V 固态变压器与常规低频配电变压器的体积/重量/成本对比10.1109/ECCE.2014.6954023

适合交流/直流、直流/直流运行和
中频的具体固态变压器应用



固态变压器的本质 J. W. 科拉尔 (J. W. Kolar) 和 J. E. 胡贝尔 (J. E. Huber) ; 瑞士联邦理工学院 (ETH) 苏黎世电力电子系统实验室



固态变压器： 市场和推动因素

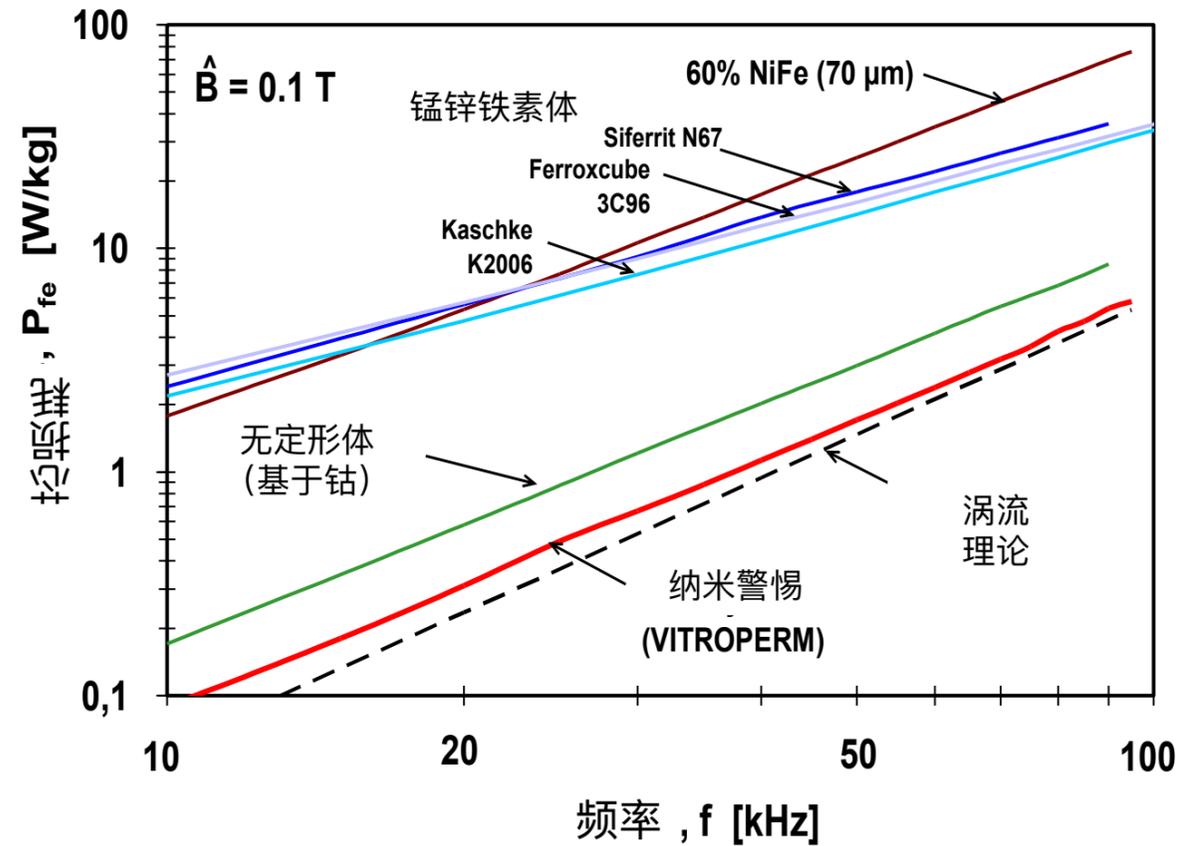
推动因素

- 可再生能源和可持续能源投资规模不断扩大
- 配电和输电基础设施投资规模不断扩大
- 具有高额定电流和电压的 SiC 和 GaN 半导体的大规模采用
- 在输电系统中的应用数量不断增加
- 电动汽车行业的发展

固态变压器 开发周期

固态变压器中最优的铁芯性能不仅可以最大程度降低尺寸、重量和成本，而且可以提高其整体效率：

低铁芯损耗、高饱和磁通密度、高磁导率和温度稳定性 主要包括 FeSiBNbCu-纳米晶体、铁氧体和铁基非晶铁芯。Co基非晶价格过高。



佩措尔德J.(Petzold J.), 软磁纳米晶体材料在现代电子应用中的优势, 磁性与磁性材料学报, 242-245, 2002年, 第84-89页。

得益于其低损耗和紧凑芯设计，纳米晶在 1-20千赫兹范围内具有出色性能

材料	损耗(瓦/千克)	Bs(mT)	磁导率(50赫兹)	环境温度
锰锌铁氧体	5 - 20	600	1.5K - 15K	100 °C
铁基非晶	5 - 20	1560	6.5K - 8K	150 °C
纳米晶	0.1 - 4	1230	20K - 200K	150 °C



纳米晶 竞争优势

材料优势



功率密度更大

功率密度比铁氧体和非晶大数倍



减低重量和尺寸

高饱和磁通密度有利于减小芯尺寸和紧凑型设计



损耗和噪音更低

中频/高频范围内运行损耗更低且噪音更低



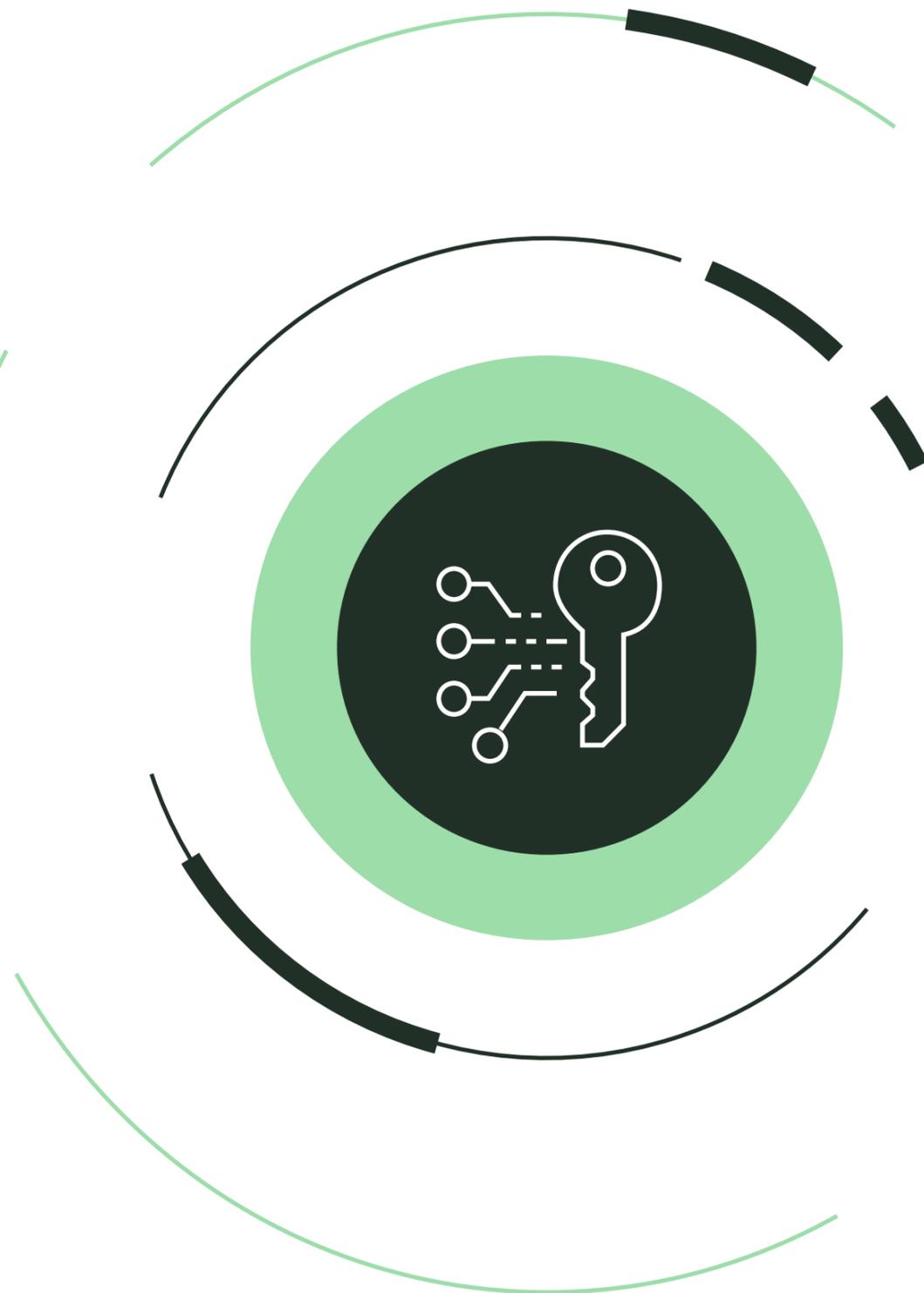
效率提升

纳米晶铁芯中频变压器的效率水平超过 99%

应用 关键趋势

可再生能源、电网和电动汽车

- 固态变压器尤其适合可再生能源和智能电网的直流 / 直流运行
- 可再生能源的中压集流电网
- 电动汽车的牵引和充电
- 其他具有高潜力的新型应用



重量和尺寸小

- 体积和重量要求 严苛的应用(飞机, 水下)
- 有利于新能源储存模块的高效低成本安装

灵活性和优化性

- 其快速开关性能使其能够在公用设施中轻松处理多个电源
- 固态变压器能够控制和调整动态功率范围, 从而微调电能质量

交直流协同

- 固态变压器提供完美工具, 将交流和直流分配相结合, 并优化由此产生的效率
- 适用于本地化交流/直流配电

应用

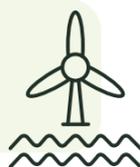
数据中心



基于固态变压器进行的中压供电和设施级直流配电

用设施级直流配电取代常规交流配电，以减少损耗并提高可靠性

海上风电



基于固态变压器通过高频变压器进行的交流增压和隔离

配备固态变压器的紧凑型高效海上变电站，即可实现远距离高压直流输电

海底电网



基于固态变压器的无平台/浮子直流输电

通过紧凑型重量优化的固态变压器配置，即可实现更远距离的海底作业

应用

电转气



利用多余风能/太阳能进行电解和氢气储存的固态变压器配置

适合从大功率交流电到低压直流电转换的紧凑型固态变压器配置

智能电网和电动汽车充电



直流微电网用固态变压器配置

无需低压直流转换，因此效率更高且成本更低

基于固态变压器用于双向中压接口的配置

为高效能源管理、削峰填谷和电网稳定建立能源枢纽

飞机和军舰电气化



基于固态变压器用于电动飞机推进的超导配电系统

采用紧凑和重量优化的固态变压器进行电力传输，提供了设计灵活性

基于固态变压器的船用直流配电

采用固态变压器的直流配电可将能源效率提高20%

结论



1

固态变压器是未来配电的关键技术

虽然目前固态变压器的开发仍然处于商用阶段，但是一些学术和工业机构开始开发适合其应用的解决方案。

2

与铁氧体和非晶相比，纳米晶更加适合用于制造固态变压器铁芯

在中高频范围内，纳米晶在诸如体积、尺寸、功率密度、铁芯和绕组损耗、效率和温度稳定性等方面一如既往地展示着出色性能。

3

未来几年，需要通过制定解决方案，开发固态变压器市场的潜力

凭借固态变压器的最佳特性和进一步提高的小型化潜力，纳米晶处于最佳位置，成为该快速增长新兴市场的标志性铁芯材料。

4

纳米晶广泛用于纯学术科研，而极少用于关键工业应用

学术界人士正在开展基于纳米晶的原型试验，但是仍需提高主要工业界人士的认识，以便将基于纳米晶的变压器芯用于面向市场的解决方案中。