



白皮书 · 光伏与储能

光伏储能系统： 磁性元件白皮书

光伏组串逆变器、微型逆变器和储能PCS的电感与变压器需求——MPPT升压电感、双向DC-DC电感和EMI滤波磁性元件

适用场景：光伏组串逆变器（20–150 kW） · 微型逆变器 · 储能PCS · 并网储能

发布方	深圳市谱磁科技有限公司（PROMAGTECH）
文件类型	技术白皮书——光伏与储能系列
适用读者	功率电子工程师 · 系统设计工程师 · 采购工程师
网址	www.promagtech.com
邮件	zyong@promagtech.cn

一、核心结论

核心结论： 储能PCS磁性元件必须围绕双向电流、双方向直流偏置稳定性和热循环进行设计评审，而不仅仅是额定电感量。在室温零偏置下通过电感量测试的元件，如果Isat裕量或热性能在工作条件下不足，仍可能在系统中失效。

二、光伏储能市场背景

光伏逆变器和储能变流器（PCS）是光储一体系统中的核心功率变换设备，其效率、可靠性和元件寿命直接决定系统经济性——尤其是在循环次数较高的商业和工业储能项目中（每天一个完整充放电循环，20年超过6,000次循环）。

磁性元件——电感和变压器——是这些变换器中热应力最高的无源元件之一。热循环、双向电流应力和长期部分负载运行，都是必须在元件选型阶段就加以考虑的需求，而不是等到系统集成时才处理。

三、光伏逆变器磁性元件

3.1 组串逆变器拓扑与磁性元件角色

组串逆变器（20–150 kW/台）是商业光伏的市场主流，采用两级结构：

- 前级DC-DC（MPPT升降压）：将可变光伏串列电压转换为稳定直流母线。MPPT升压电感是本级的核心磁性元件。
- 后级DC-AC（逆变级）：将直流母线转换为工频交流。共模电感和差模电感在电网接口处滤除传导EMI。

3.2 MPPT升压电感选型

参数	典型值	备注
功率范围	20–150 kW（每台组串逆变器）	随组串数量扩展
光伏串列电压	600–1500 V DC	决定绝缘等级
工作频率	16–50 kHz	铁氧体或铁硅铝磁芯
电感量公式	$L = (V_{in} \times D) / (\Delta I \times f_s)$	D=占空比； ΔI =纹波目标
效率目标	≥ 98%	30A以上必须使用扁平线
磁芯选择	铁硅铝/Sendust或带气隙铁氧体	MPPT优选软饱和特性
温度循环	-40°C至+85°C户外工况	在85°C下验证磁芯Bs _{at} 和DCR

3.3 微型逆变器变压器

微型逆变器（200–500 W/台）要求在极紧凑的封装中实现高功率密度。平面变压器是首选，因为其低矮外形、良好的热扩散性能和可重复的生产一致性。

- 平面变压器：最新一代高度低至8mm；SiC/GaN开关下工作频率最高200 kHz
- PCB绕组减少元件数量，提高制造一致性
- 高绝缘电压：光伏侧与并网侧之间AC 3000–4000 V

四、储能PCS磁性元件

4.1 PCS拓扑概述

储能变流器通常采用DAB（双有源桥）或三相模块化拓扑。这些拓扑中的磁性元件经历以下应力：

- 双向DC-DC电感：充放电期间电流双向流动；电感必须在两个方向都保持充足的 I_{sat} 裕量
- 变压器（DAB拓扑中）：高频工作，通常20–100 kHz；需扁平线或Litz线绕组
- 交流侧滤波电感和共模电感：与光伏逆变器电网接口类似的要求

4.2 双向DC-DC电感的特殊要求

双向DC-DC电感是储能PCS中应用最具专属性的磁性元件，其要求在三个重要方面不同于传统单向PFC电感：

与单向PFC电感的关键区别：

- 饱和电流必须在充电和放电两个方向分别验证——许多设计的绕组结构不对称，导致两个方向 I_{sat} 不同
- 双方向全工作电流范围内的直流偏置稳定性——电感在最大充电电流和最大放电电流下都必须满足规格
- 循环寿命要求：20年6,000+次充放电循环，对绕组绝缘和磁芯绑定施加热疲劳要求
- 温度范围：户外电池柜通常要求-40°C至+65°C；在两个极值下验证磁芯 B_{sat} 和DCR
- 电网侧故障电流：PCS电感可能承受短路故障电流； I_{sat} 须包含适当瞬态裕量（通常1.5–2×额定电流）

参数	小型商业储能	大型工业储能
额定功率	10–100 kW（每台PCS）	100–500 kW（每台PCS）
工作频率	8–20 kHz	8–20 kHz（效率优先，取较低值）
直流母线电压	400–800 V	800–1500 V
额定电流（每方向）	25–125 A	125–600 A
I_{sat} 要求	$\geq 1.3 \times$ 额定，在65°C下	$\geq 1.4 \times$ 额定，在65°C下
温度循环寿命	25年户外服务	25年，户外机柜
绝缘（800V母线）	AC 2000–3000 V耐压	AC 3000–4000 V耐压

五、光伏和储能的EMI滤波磁性元件

并网光伏和储能系统必须在电网接口满足CISPR 11 A类（或B类）传导发射限值。逆变器交流输出端的共模电感和差模电感是主要EMI抑制元件。

元件	磁芯材料	频率范围	关键要求
单相共模电感	纳米晶/非晶	150 kHz – 30 MHz	高共模阻抗；低差模电感失配
三相共模电感	纳米晶	150 kHz – 10 MHz	三绕组平衡；800V母线绝缘 \geq AC 2000V
差模滤波电感	铁粉芯/铁硅铝	150 kHz – 5 MHz	低直流损耗；储能应用中双向电流
LCL输出滤波	铁粉芯/铁氧体	16–50 kHz	电网侧电感量；THD目标驱动设计

六、规格清单

光伏/储能磁性元件评审所需参数：

- 系统类型：光伏逆变器（MPPT）/储能PCS/光储一体
- 额定功率和相数
- 直流电压范围（光伏串列或电池电压，含最小/最大/瞬态）
- 交流电压范围和电网频率
- 电流（有效值/峰值/双向时注明方向）
- 开关频率（Hz或kHz）
- 目标电感量或匝比及可接受公差
- Isat要求——注明方向及定义方法（L-20%?）
- 温升限制和环境温度范围
- 绝缘电压和耐压测试等级
- EMI标准（CISPR 11 A/B类、当地电网规范）
- 服务寿命和循环次数目标（储能应用）
- 封装空间和安装方式

七、常见问题

Q1: 储能电感为什么必须在两个方向检查Isat?

在双向储能电感中，充电电流和放电电流都会对磁芯施加直流偏置应力。如果绕组结构不对称（如抽头绕组、气隙位置不对称），充放电两种模式下的有效Isat可能不同。在一个方向通过Isat验证的元件，可能在另一个方向饱和。必须在最高工作温度下对批准样品的两个方向进行验证。

Q2: 光伏逆变器磁性元件的典型效率目标是多少?

目标系统效率 $\geq 98\%$ 的组串逆变器，要求磁性元件具有低铜损和铁损的组合。这通常意味着扁平线绕组（降低16–50 kHz下的DCR和交流电阻）以及针对工作磁通密度和频率优化的磁芯材料选择。在30A及以上电流时，通常必须使用扁平线才能将铜损控制在效率目标范围内。

Q3: 本白皮书中的量产数据可以直接使用吗?

不可以。本白皮书中的所有数值均为工程参考。量产值必须通过批准样品、双方向直流偏置测量（储能应用）、工作温度下的DCR测量、额定电流下的热验证和耐压测试，在量产发布前逐一确认。

八、联系与相关资源

资源	链接
储能电感产品	promagtech.com/products/energy-storage-inductor.html
三相共模电感产品	promagtech.com/products/three-phase-common-mode.html
20–60 kW PFC电感设计指南	promagtech.com/technical-resources/20-60kw-pfc-inductor-selection-guide.html
高功率密度白皮书	promagtech.com/technical-resources/high-power-density-flat-wire-magnetics-white-paper.html
扁平线vs圆线电感选型指南	promagtech.com/technical-resources/flat-wire-vs-round-wire-inductors.html
AIDC与储能PCS大电流设计指南	promagtech.com/technical-resources/aidc-energy-storage-pcs-high-current-inductor-design.html

<p>深圳市谱磁科技有限公司</p> <p>zyong@promagtech.cn</p> <p>WhatsApp: +86 135 3765 8938</p> <p>www.promagtech.com</p>	<p>响应承诺</p> <ul style="list-style-type: none"> 收到完整规格后24小时内给出初步设计评估 3个工作日内提供正式报价 标准定制样品5–7个工作日可交付
---	---

