



设计计算 · 技术文章

20–60 kW PFC电感： 选型与设计指南

三相PFC电感设计指南，面向EV充电站、储能变流器和工业电源——电感量计算、磁芯选型、热设计和绝缘要求

适用场景：EV直流快充（20–120 kW） · 储能PCS · 工业电源 · UPS

发布方	深圳市谱磁科技有限公司（PROMAGTECH）
文件类型	技术文章——PFC电感设计系列
适用读者	功率电子工程师 · 硬件研发 · 采购工程师
网址	www.promagtech.com
邮件	zyong@promagtech.cn

一、核心结论

核心结论： 20kW三相PFC电感在16 kHz时，每相电感量通常约为200–350 μH ；而60 kW设计需要在电流路径、磁芯窗口和热结构上进行独立的规模化设计，两者不能共用一个设计方案。

二、三相PFC电路概述

三相PFC（功率因数校正）广泛用于大功率EV充电站、储能变流器（PCS）和工业电源。20–60 kW是直流快充桩和并网储能系统的主流功率区间，要求PFC电感设计同时满足高效率、低THD和长寿命可靠性。

2.1 PFC电感的功能

- 储能：在每个开关周期内平衡输入和输出功率的瞬时差异
- 纹波限制：将峰峰值电流纹波 ΔI 控制在目标范围内，满足电网谐波（THD）要求
- 滤波：衰减传播到交流电网的开关频率谐波

2.2 电路拓扑背景

三相PFC通常采用Vienna整流器或两电平Boost拓扑，每相各有一个升压电感。三相电感的电感量和DCR应保持匹配，避免相间电流不平衡导致THD增大和热负荷不均。

三、电感设计参数计算

3.1 参考设计：30 kW三相PFC

参数	数值	备注
输入电压	380 V AC（线电压）； 相电压220 V	通用三相电网
输出电压	800 V DC	EV快充高压母线
开关频率	50 kHz	SiC或IGBT变换器
功率等级	30 kW（每相10 kW）	三相平衡
纹波电流比	$0.3 \times I_{pk}$	典型值，对应15–30%纹波目标

3.2 电感量计算

第一步——相电流峰值：

$$I_{pk} = \sqrt{2} \times P / (3 \times V_{相}) = \sqrt{2} \times 30,000 / (3 \times 220) \approx 64 \text{ A}$$

第二步——纹波电流目标（峰值的30%）：

$$\Delta I = 0.3 \times 64 \approx 19 \text{ A (峰峰值)}$$

第三步——最小电感量（380 V输入/800 V输出时，占空比 $D \approx 0.46$ ）：

$$L_{min} = (V_{相} \times D) / (f_s \times \Delta I) = (220 \times 0.46) / (50,000 \times 19) \approx 107 \mu\text{H}$$

加30%设计裕量后取整，选 $L = 350 \mu\text{H}$ /每相。注意：20 kW设计（电流更低、可接受更大纹波）每相典型值为200–300 μH ；60 kW设计（电流更大）磁芯必须针对更大的窗口和热预算重新设计——不是简单地按比例放大30 kW方案。

四、磁芯选型

4.1 20–60 kW PFC磁芯材料对比

磁芯材料	50 kHz损耗	Isat特性	相对成本	最佳应用
铁硅铝 (KoolMu)	低–中等	软饱和；缓慢滚降	中等	通用PFC；直流偏置稳定性好
铁粉芯 (Sendust)	中等	软饱和；Isat高	低	成本敏感设计；低频下表现好
铁氧体 (MnZn)	极低	硬饱和；急剧截止	低	高频 (>100 kHz)；需气隙控制
纳米晶	极低	高磁导率；需核查Isat裕量	较高	低损耗设计；800V高压平台

对于16–50 kHz的20–60 kW PFC电感，铁硅铝 (KoolMu/Sendust) 磁芯是最常见选择：软饱和特性在峰值电流时提供自然裕量，损耗适中，温度稳定性良好。当开关频率超过100 kHz且电感尺寸允许带气隙铁氧体几何结构时，铁氧体是更优选择。

4.2 饱和电流验证

磁芯必须确保在峰值电流 I_{pk} 时的电感量仍在可接受范围内（通常定义为 I_{pk} 下 L 降低 $\leq 20\%$ ）。务必在最高工作温度下验证——粉芯的 B_{sat} 从25°C到100°C通常下降10–20%。

重要提示： 对于双向储能PCS设计，饱和电流必须在充电和放电两个方向分别验证。某些绕组配置在一个方向满足 I_{sat} 要求，但在另一个方向不满足。

五、热设计

5.1 损耗分解

额定工作点的电感总损耗：

$$P_{\text{总}} = P_{\text{铜损}} + P_{\text{铁损}} = I_{\text{rms}}^2 \times R_{\text{AC}} + P_{\text{core}}(f, B_{\text{ac}}, V_{\text{core}})$$

对于50 kHz的30 kW PFC（扁平线绕组+铁硅铝磁芯），典型比例是铜损60-70%、铁损30-40%。因此，通过扁平线绕组降低DCR，对总损耗的影响比换用磁芯材料更显著。

5.2 温升估算

设计方案	相对DCR	铜损	温升
圆线，自然冷却	基准值	基准值	基准值（如75°C温升）
扁平线，自然冷却	低20-30%	低20-30%	约50-60°C（低15-25°C）
扁平线，强制风冷	低20-30%	低20-30%	< 40°C（EV充电桩PFC目标）

六、绝缘设计

6.1 电压应力与间隙要求

系统母线电压	最小电气间隙（基本绝缘）	爬电距离	耐压测试
400 V DC	1.5 mm	3.2 mm（污染等级2，IIIb组）	AC 1500 V / 1min
800 V DC	3.0 mm	6.4 mm（污染等级2）	AC 2000-3000 V / 1min
1000 V DC	3.5 mm	8.0 mm	AC 3000 V / 1min

6.2 局部放电注意事项

在800V系统中，局部放电（PD）是绝缘长期降解的主要原因。PDIV（局部放电起始电压）必须高于系统峰值工作电压，并留有足够裕量。关键设计措施：

- 避免绝缘中存在气孔；高可靠性要求时采用真空灌封
- 高压场合优先使用低介电常数绝缘薄膜（PI或PPS，优于PET）
- 导体端部避免尖角；扁平线端子采用圆角成型（最小半径0.5 mm）
- 在样品批准阶段规格化PDIV测试（适用于800V+系统）

七、功率规格放大：20 kW vs 60 kW

参数	20 kW设计	60 kW设计	影响
每相电流 (有效值)	~17 A	~51 A	电流3倍→导体截面积3倍, 或相同DCR下铜损9倍
磁芯窗口面积	较小	较大 (约3倍铜截面积)	通常需要新开工装
温升管理	较易控制	热极限往往是约束条件	30-40 A以上必须使用扁平线
每相电感量	200-350 μ H	200-350 μ H (类似)	相同电感量, 但需多得多的铜
外壳/散热	自然冷却可行	通常需要强制风冷或散热器	机械结构完全不同

八、定制PFC电感规格清单

工程评审所需参数:

- 三相总功率和每相功率 (kW)
- 交流输入电压 (线电压) ——最小/标称/最大
- 直流输出电压及瞬态范围
- 额定负载下每相电流 (有效值和峰值)
- 开关频率 (kHz) ——固定或可变
- 每相目标电感量和可接受公差 (在额定偏置下)
- 工作温度下每相最大DCR (m Ω)
- 温升限制 (高于规定环境温度的 $\Delta T^{\circ}\text{C}$)
- 散热方式: 自然对流/强制风冷 (CFM) /散热器
- 系统母线电压 (用于绝缘和耐压规格)
- 封装空间: 最大长 \times 宽 \times 高mm; 安装方式
- 认证需求: UL/TUV/CE/RoHS; 年需求量

九、常见问题

Q1: 16 kHz下20 kW三相PFC需要多大电感量?

在~400 V交流输入、700 V直流母线和16 kHz开关频率下，典型每相电感量为200–350 μH ，取决于允许的电流纹波（峰值电流的15–30%）。频率越高，相同纹波所需的电感量越小；功率越大，需要的铜截面积越大，但不一定需要更大的电感量。

Q2: 20 kW PFC电感典型DCR目标是多少？

对于每相约17 A有效值的20 kW级PFC，工程师通常将DCR目标定在个位数毫欧（2–8 m Ω 范围）。具体DCR取决于额定电流、可用导体截面积和散热方式。电流越大，需要更低的DCR来控制铜损和温升。

Q3: 一个PFC电感设计方案能同时覆盖20 kW和60 kW吗？

不能。60 kW设计需要约3倍的导体截面积、更大的磁芯窗口和通常不同的热管理方案。20 kW到60 kW区间应视为具有相同拓扑但磁性元件设计不同的独立定制设计系列。

Q4: 本指南中的数据可以直接用于量产吗？

不可以。本指南中的所有数值均为工程参考。量产值必须通过批准样品、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。

十、联系与相关资源

资源	链接
充电站PFC电感产品	promagtech.com/products/charging-pile-pfc.html
PFC升压扁平线电感产品	promagtech.com/products/pfc-boost-inductor.html
800V EV平台电感选型指南	promagtech.com/technical-resources/800v-ev-platform-inductor-selection.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
---	---