



SHENZHEN PROMAGTECH CO.,LTD. | 深圳市谱磁科技有限公司

技术应用文章 · www.promagtech.com

800V OBC 后级 CLLC 双向变压器选型 PFC 之后的隔离 DC-DC 级

为什么用 CLLC,以及变压器该怎么定参数

项目	内容
文件名称	800V OBC 后级 CLLC 双向变压器选型 — 技术应用文章
适用范围	800V 车载充电机(OBC)的隔离 DC-DC 级
作者 / 审阅	张勇 — 电子工程师、谱磁科技创始人
版本 / 日期	CN-1.0 / 2026-07-13
网站 / 联系	www.promagtech.com · +86 135 3765 8938 · zyong@promagtech.cn

谱磁 800V 功率磁件系列之一。文中数值为设计目标,以送样实测为准。

摘要与关键点

一句话结论

800V OBC 的后级是一个隔离 DC-DC,把 PFC 输出的高压母线变换到电池电压并做电气隔离。因为要支持双向(充电 + V2G/V2L 放电),它普遍用 CLLC 而非 LLC——两侧对称的谐振电容让增益双向对称。这一级的变压器,核心是定好五个量:匝比 n 、励磁电感 L_m 、谐振电感 L_r (常以漏感集成)、最大磁密 B_{pk} 、以及覆盖电池电压范围的增益范围。

关键点:

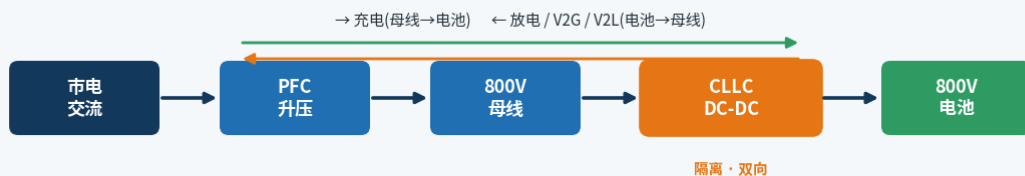
- 后级 = 隔离 DC-DC:PFC 管功率因数与升压,后级管隔离与变比,把母线电压变到电池电压。
- 为什么 CLLC:OBC 要双向(V2G/V2L),LLC 反向增益差;CLLC 两侧对称,正反向增益一致。
- 变压器定五个量:匝比 n 、 L_m 、 L_r (漏感)、 B_{pk} 、增益范围——这五个对齐了,规格就定了。
- L_r 建议集成:把谐振电感做成变压器的可控漏感(磁集成),省一颗器件、省体积、参数更一致。
- 宽电池电压是难点:电池 SOC + 800V/400V 兼容 → 增益范围宽,靠 L_m/L_r 比值(m 值)和调频范围来覆盖。
- 800V 要加强绝缘:原副边隔离、爬电/电气间隙、局部放电(PD)——按 800V 加强绝缘设计。

说明 本文是谱磁的工程应用文章;公式为通用工具,示例数值为设计目标,具体参数以各项目送样实测为准。

1. CLLC 在 800V OBC 里的位置

车载充电机(OBC)通常两级:前级是 PFC,把电网交流整成正弦电流并升压到高压直流母线;后级是隔离 DC-DC,把母线电压变换到电池电压,并提供原副边电气隔离。CLLC 就是这个后级最常用的拓扑。

图 1 CLLC 变压器在 800V OBC 中的位置 — PFC 之后的隔离 DC-DC 级



谱磁 ProMagTech · www.promagtech.com

图 1 — CLLC 变压器在 800V OBC 中的位置:PFC 之后的隔离 DC-DC 级。

承接前文 谱磁此前的文章讲透了 OBC 的前级 PFC 电感;本文补上后级 DC-DC 变压器——两篇合起来,就是一条完整的 800V OBC 磁件链路。

2. 为什么是 CLLC,而不是 LLC

传统 LLC 谐振腔是不对称的:谐振电容 C_r 、谐振电感 L_r 、励磁电感 L_m 都在原边。它做单向(母线→电池)时效率很高,但反过来(电池→母线)增益特性差,不适合双向。

而 800V OBC 越来越需要双向:V2G(电动车反向给电网供电)、V2L(给外部负载供电)。CLLC 在副边也加一个谐振电容,让谐振腔两侧对称——正向和反向的增益曲线一致,双向都能高效工作。这就是 OBC 后级普遍选 CLLC 的原因。

维度	LLC	CLLC
谐振腔	不对称(C_r 在原边)	对称(两侧都有 C_r)
方向	单向最优	双向对称
典型场景	单向电源、DCX	双向 OBC、储能双向 DC-DC
变压器要求	定 L_m 、 L_r	定 L_m 、两侧对称 L_r 、对称漏感

表 1 — LLC 与 CLLC 对比:双向是选 CLLC 的根本原因

3. CLLC 谐振腔与变压器的关系

图 2 CLLC 谐振腔 — 两侧对称 C_r - L_r ,增益双向对称

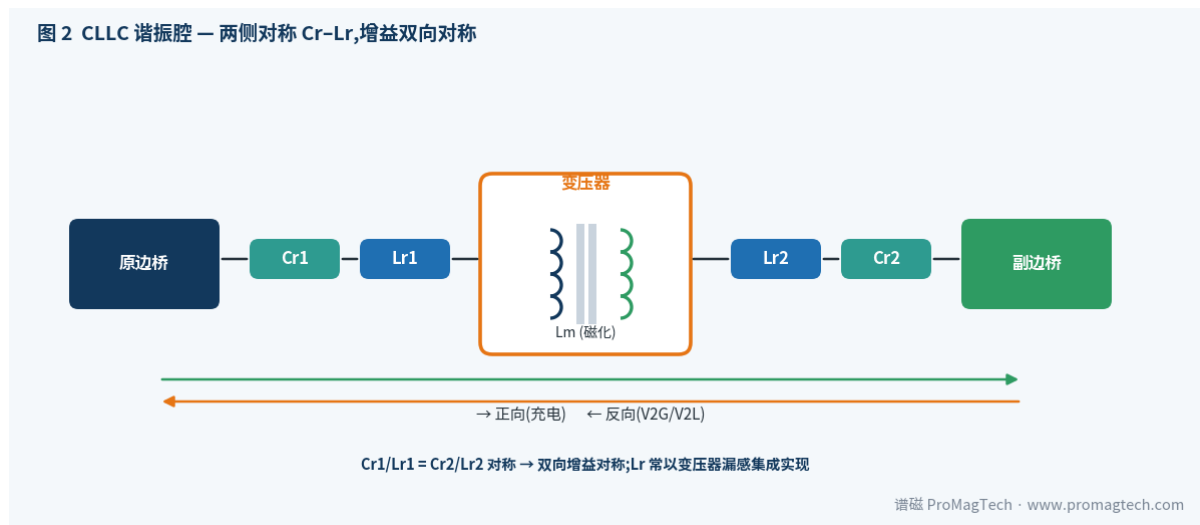


图 2 — CLLC 谐振腔:两侧对称 C_r - L_r ;变压器提供 L_m 与集成漏感 L_r 。

从磁件角度看,变压器在谐振腔里承担两个角色:一是励磁电感 L_m (变压器自身的并联电感),决定磁化电流与 ZVS 软开关能力;二是谐振电感 L_r ,可以外置一颗独立电感,也可以用变压器的漏感来实现(磁集成)。谐振电容 C_r 由电路配套。

三个核心量的关系:

谐振频率: $f_r = 1 / (2\pi\sqrt{L_r \cdot C_r})$

匝比(增益≈1 点): $n = N_p / N_s \approx V_{bus} / V_{bat}$

磁密校核: $B_{pk} = V_{bus} / (4 \cdot f_s \cdot N_p \cdot A_e)$



关键 变压器和谐振腔不能分开定。Lm、Lr(漏感)、匝比一旦定死,增益范围与 ZVS 就定了——所以变压器要和电路的 Cr、频率范围一起联合设计。

4. 变压器选型:定好这五个量

① 匝比 n

按母线电压与电池电压范围定,取在增益 ≈ 1 的工作点附近。电池电压随 SOC 变化(以及 800V/400V 平台兼容),匝比要兼顾整个范围,不能只按标称点定。

② 励磁电感 Lm

Lm 越小,磁化电流越大,ZVS 越容易实现,但导通损耗上升;Lm 越大越省损耗,但可能丢 ZVS。要在 ZVS 裕度与效率之间取平衡。ZVS 上限约束:

ZVS(近似): $L_m \leq T_d / (16 \cdot C_{oss} \cdot f_s)$

(T_d =死区时间, C_{oss} =开关结电容, f_s =开关频率)

③ 谐振电感 Lr —— 建议集成为漏感

Lr 可外置独立电感,也可做成变压器的可控漏感。谱磁推荐后者(磁集成):把 Lr 设计进变压器的漏感,省一颗器件、省体积、参数一致性更好。CLLC 双向还要求两侧漏感对称,这对绕组结构设计提出更高要求。

④ 最大磁密 Bpk

高频下按 $B_{pk} = V_{bus} / (4 \cdot f_s \cdot N_p \cdot A_e)$ 校核,留足裕度避免磁饱和与过高磁损。高频变压器通常把 Bpk 控制在较低水平以压磁损。

⑤ 增益范围

电池电压范围越宽,要求的增益范围越大。增益范围由 Lm/Lr 比值(常记为 m)与调频范围共同决定:m 小则增益范围宽但轻载调节难,m 大则效率高但增益窄。这一步是 CLLC 设计里最需要和电路联合权衡的。

5. 绕组 · 材料 · 工艺

- **平面 or 绕线**:高频、低轮廓、大批量一致性优先选平面;高匝比、成本敏感可用绕线。
- **磁集成漏感**:通过绕组排布与磁芯结构,把 Lr 做成可控且对称的漏感,双向 CLLC 尤其看重对称性。
- **扁平线**:副边大电流时用扁平线降 DCR 与温升。
- **材料**:MHz 级用低损耗铁氧体;数百 kHz 可用常规功率铁氧体。
- **800V 绝缘**:原副边加强绝缘,设计爬电/电气间隙,控制匝间/层间局部放电(PD)。



6. 验证与品质基线(DVP)

验证项	方法 / 设备	判据(示例)
励磁电感 L_m	LCR	目标值 $\pm$ 规定%
漏感 L_r / 对称性	LCR / 网络分析仪	两侧 L_r 偏差 $<$ 规定%
谐振频率 f_r	网络分析仪	与设计 f_r 一致
磁密 B_{pk}	FEA + 波形核算	留饱和裕度
ZVS / 效率	示波器 / 功率分析仪	全范围软开关、效率达标
双向增益	双向满载测试	正/反向增益对称
温升 / 绝缘 / PD	红外 / Hipot / PD	限值内 / 通过

表 2 — CLLC 双向变压器统一验证基线(判据随项目定,数值以实测为准)

7. 选型规格清单(和供应商对齐用)

找磁件厂打样前,把下面这张表填清楚,能省掉大量来回:

参数	说明 / 示例
额定 / 峰值功率	如 6.6 / 11 / 22 kW
母线电压范围 V_{bus}	PFC 输出,如 750–800 V(示例)
电池电压范围 V_{bat}	如 500–830 V(800V 平台,示例)
开关 / 谐振频率	如 $f_r \approx 200\text{--}500$ kHz(示例)
匝比 $n / N_p:N_s$	按 V_{bus}/V_{bat} 定
励磁电感 L_m	目标值 + 公差
谐振电感 L_r	外置 or 集成漏感 + 两侧对称度
方向	单向 / 双向(V2G/V2L)
绝缘等级 / 爬电 / PD	按 800V 加强绝缘 + PD 判据
限高 / 温升 / 效率目标	限高 mm、温升 K、效率 %

表 3 — CLLC 变压器打样前需对齐的规格清单

8. 常见问题(FAQ)

问 CLLC 和 LLC 到底差在哪?

答 LLC 谐振腔不对称(谐振电容只在原边),单向效率高但反向增益差;CLLC 在副边也加谐振电容,两侧对称,正反向增益一致。所以需要双向(V2G/V2L)的 OBC 后级用 CLLC。

**问 为什么 OBC 后级越来越要双向？**

答 因为 V2G(反向给电网供电)和 V2L(给外部负载供电)成为卖点和法规趋势。要双向就要求 DC-DC 正反向都高效,这正是 CLLC 的强项。

问 谐振电感要不要集成进变压器？

答 建议集成。把 L_r 做成变压器的可控漏感,省一颗独立电感、省体积、批间参数更一致。代价是绕组/磁芯结构设计更复杂,而且 CLLC 双向要求两侧漏感对称。

问 电池电压范围很宽,增益怎么覆盖？

答 靠 L_m/L_r 比值(m 值)和调频范围共同覆盖。 m 小则增益范围宽但轻载调节难, m 大则效率高但增益窄。宽范围场景要在设计阶段就和电路联合权衡,而不是事后补。

问 平面还是绕线变压器？

答 高频、低轮廓、大批量一致性优先平面;高匝比、成本敏感可绕线。CLLC 常在数百 kHz,平面在漏感可控性和一致性上更有优势。

问 800V 隔离要特别注意什么？

答 原副边加强绝缘、够的爬电与电气间隙、控制匝间/层间局部放电(PD)。PD 是长期寿命隐患,必须专门设计和测试,不能只测耐压。

问 变压器和谐振腔谁先定？

答 一起定。 L_m 、 L_r 、匝比一旦定死,增益范围和 ZVS 就定了,必须和电路的 C_r 、频率范围联合设计。把变压器当独立件单独定,后面大概率返工。

问 找谱磁能定制哪些参数？

答 匝比、 L_m 、集成漏感 L_r 及其对称度、 B_{pk} 、绕组结构(平面/扁平线)、800V 绝缘与 PD 方案、限高与温升目标,都可按你的电路联合定制并送样验证。

9. 术语

- **OBC** — 车载充电机,把电网交流转成高压直流给电池充电,常含 PFC 前级 + 隔离 DC-DC 后级。
- **CLLC** — 两侧对称的谐振变换拓扑,增益双向对称,适合双向 OBC。
- **LLC** — 单向优化的谐振拓扑,谐振腔不对称。
- **V2G / V2L** — 车对电网 / 车对负载,电动车反向供电,要求双向 DC-DC。
- **L_m (励磁电感)** — 变压器并联电感,决定磁化电流与 ZVS 能力。
- **L_r (谐振电感)** — 谐振腔电感,可外置或用变压器漏感集成。
- **漏感** — 变压器原副边未完全耦合的电感,可被用作 L_r 。
- **ZVS** — 零电压开关,靠磁化电流给结电容充放电实现软开关。
- **局部放电(PD)** — 高压下匝间/层间气隙的微放电,长期劣化绝缘。



10. 延伸阅读

本文属谱磁《800V 高压功率磁件选型总纲》体系;相关深度文:

- [800V 高压功率磁件选型总纲\(Pillar 总图\)](#)
- [OBC PFC 升压电感选型\(前级,与本文配套\)](#)
- [OBC PFC 电感选型与设计指南\(图腾柱 vs 维也纳\)](#)
- [磁集成:把谐振电感做进变压器](#)
- [平面变压器 vs 传统变压器怎么选](#)
- [1MHz 3.3kW 矩阵平面变压器\(高频平面案例\)](#)
- [高频不等于高密度:400kHz LLC 频率拐点](#)
- [800V EV 充电系统白皮书](#)

11. 关于谱磁

深圳市谱磁科技有限公司(成立于 2013 年,深圳光明区)研发制造扁平线电感、平面变压器、共模电感与 PFC 电感,广泛用于 800V EV OBC 与直流充电、AI 数据中心电源、储能 PCS、光伏逆变与工业电源。CLLC 双向变压器可按客户电路联合定制并送样验证。

作者 / 审阅:张勇,电子工程师、谱磁科技创始人。

联系方式: 张勇 · +86 135 3765 8938 · zyong@promagtech.cn · www.promagtech.com

最后更新:2026-07-13 · 版本 CN-1.0

© 2026 深圳市谱磁科技有限公司 版权所有。本文为工程参考,数值以送样实测为准。