

基于NSR2260x-Q1的 反激式平面变压器设计

AN-14-0002

作者：Shuai Fan



摘 要

辅助隔离型反激电源是电动汽车（EV）/混合动力汽车（HEV）应用中的关键模块，要求具备高功率密度和高可靠性。为满足上述要求，变压器设计与反激控制器是反激电源解决方案中最重要的部分。NSR2260x-Q1 系列是一款通过 AEC-Q100 Grade1 认证的低侧 PWM 控制器，具有高可靠性和高开关频率。与传统绕线式变压器截然不同，本应用笔记将基于 NSR2260x-Q1 控制器设计一款反激式平面变压器，以实现具有高功率密度、高效率的辅助电源。

目 录

1. 基于 NSR2260X-Q1 的平面变压器反激方案	2
1.1.使用平面变压器的优势	2
1.2.在反激设计中采用NSR2260X-Q1的优势	2
2. 平面变压器布局	3
3. 测试数据	7
3.1.交叉调整率	8
3.2.满载效率	8
3.3.热性能	8
4. 修订历史	9

基于NSR2260x-Q1的 反激式平面变压器设计

1. 基于 NSR2260x-Q1 的平面变压器反激方案

1.1. 采用平面变压器的优势

在传统变压器中，采用漆包线作为绕组以实现能量转换。然而，由于漆包线无法 100% 紧密贴合磁芯骨架，初级侧与次级侧之间的位置无法精确对齐，磁耦合性能较差，导致漏感较大且变压器体积也较大。从电源系统层面来看，绕线式变压器受限于导通损耗、漏感损耗、交叉调整率以及体积等因素。

图 1.1 为平面变压器的实物图，其采用多层 PCB 作为变压器的绕组。由于 PCB 工艺的制造位置精度非常高，因此可以轻松布局出低漏感的变压器结构，并在批量生产中实现较小的标准偏差。另一方面，PCB 铜厚通常低于趋肤深度，从而显著降低导通损耗。

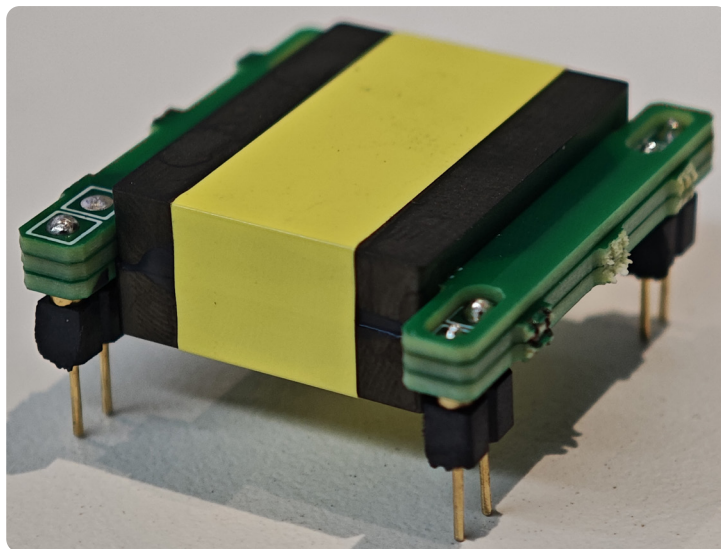


图 1.1 平面变压器实物图

1.2. 在反激设计中采用NSR2260x-Q1的优势

NSR2260x-Q1 是一款通过 AEC-Q100 Grade1 认证的非同步 PWM 控制器，具备高可靠性，适用于严苛的汽车工作环境，例如高/低环境温度、宽输入电压范围以及长工作寿命要求。除高可靠性外，NSR2260x-Q1 还具备多项适用于汽车反激电源的功能。

基于NSR2260x-Q1的 反激式平面变压器设计

功能	在汽车反激电源中的优势
可调开关频率	开关频率可在 100 kHz 至 1 MHz 范围内配置，以减小无源器件的体积
电感峰值电流保护	可通过外部CS检测电阻设置电流保护点，避免磁饱和
过载打嗝保护（Hiccup）	打嗝保护可以有效避免过载或短路故障期间功率FET和变压器过热
VCC 欠压锁定（UVLO）	3.8V的VCC UVLO阈值可以有效防止VCC欠压时功率FET在饱和区误导通
1.5A驱动峰值电流能力	高驱动峰值电流能力可降低开关损耗，从而提升效率、热性能及整体功率密度
可调软启动时间	可调软启动时间可兼容大容量输出电容，同时避免产生过大的输入浪涌电流
可选频率扩频	有助于简化EMI设计并缩小EMI滤波器尺寸

表 1.2 NSR2260x-Q1在反激设计中的功能优势列表

2.平面变压器布局

本章将介绍一个用于车载充电器（OBC）/DC-DC 应用中的三路输出PSR反激电源的设计示例。由于传统绕线式变压器与平面变压器在变压器理论电气参数设计方面并无差异，本应用笔记将不涉及电气参数设计的内容，而将重点阐述 PCB 绕组布局。

以下为目标反激电源的电气参数，以供参考。

基于NSR2260x-Q1的 反激式平面变压器设计

参数	最小值	典型值	最大值	单位
电源规格				
输入电压范围 V_{IN}	9	12	36	V
输出电压		15.22		W
输出电压 V_{OUT1} (反馈)		14.33		V
输出电流 I_{OUT1}		0.5		A
输出电压 V_{OUT2}		22		V
输出电流 I_{OUT2}		0.2		A
输出电压 V_{OUT3}		22		V
输出电流 I_{OUT3}		0.2		A
变压器规格				
磁芯类型		EE20		
磁芯有效截面积 A_e		40.3		mm ²
初级电感		9.3		μH
初级匝数		8		
N_{S1} 匝数		4		
N_{S2} 匝数		6		
N_{S3} 匝数		6		
初级RMS 电流 I_{P_RMS}	2.27		2.47	A
次级1 RMS 电流 I_{S1_RMS}	1.33		2.93	A
次级 2 RMS 电流 I_{S2_RMS}	0.68		0.99	A
次级 3 RMS 电流 I_{S3_RMS}	0.68		0.99	A

表 2. 电气参数

基于NSR2260x-Q1的 反激式平面变压器设计

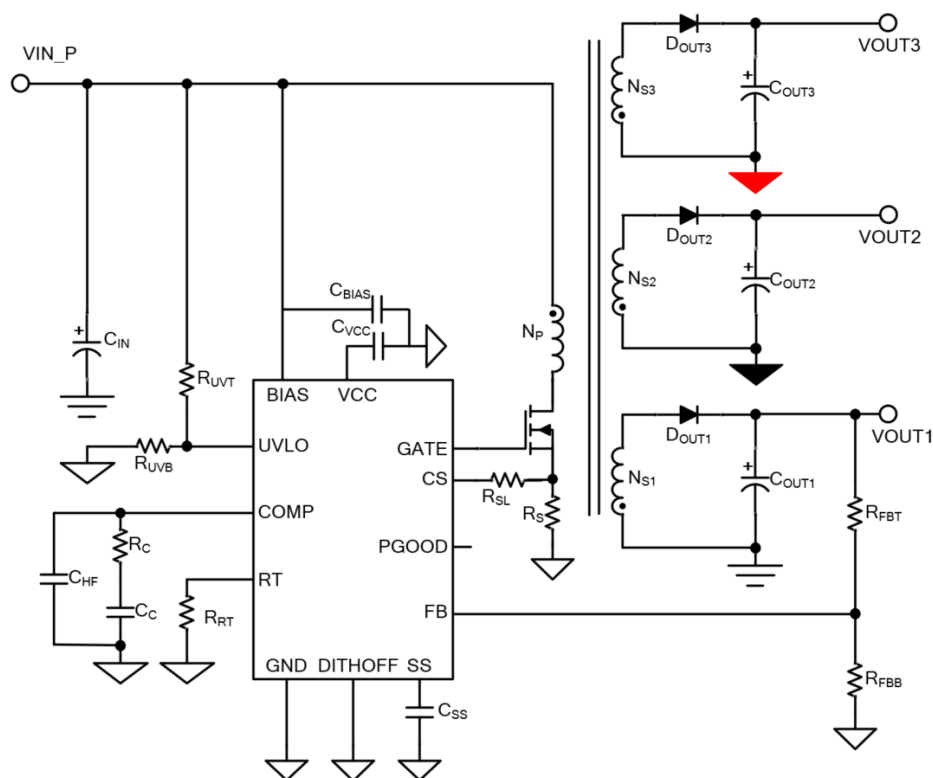


图 2.1 反激电源电路图

如图 2.1 所示，该反激电源包含四个绕组，其中 N_p 与 N_{s1} 共地，而 N_{s2}/N_{s3} 与其他绕组完全隔离。换言之， N_{s2}/N_{s3} 需要保持足够的电气间隙，或通过 PCB 介质屏障实现绝缘。

由于绕组匝线以二维平面形式布置，其中一个端点需通过过孔从内圈引出。若采用通孔，这种方案可能会因爬电距离要求而受到绝缘间距的限制。因此，采用埋孔是平面变压器中更为合适的方案。图 2.2 展示了所设计的 PCB 绕组横截面结构。该结构采用三块 PCB 板堆叠构成四个绕组，并采用“三明治”堆叠方式以减小漏感。其中， N_{s1} 与 N_p 共用一块 PCB 板，并使用通孔连接； N_{s2}/N_{s3} 各自使用单块 PCB 板，并采用埋孔连接，其 PCB 走线布置于内层，以保留 FR4 介质层，从而增强 N_{s2}/N_{s3} 与初级侧之间的绝缘性能。

需注意的是，本设计之所以选择三块 4 层板，主要受限于当前可用 PCB 供应商的工艺能力。实际上，将所有绕组整合至单块 8 层板并不困难。图 2.3 展示了一个类似的单块 8 层板 PCB 绕组横截面结构。

基于NSR2260x-Q1的 反激式平面变压器设计

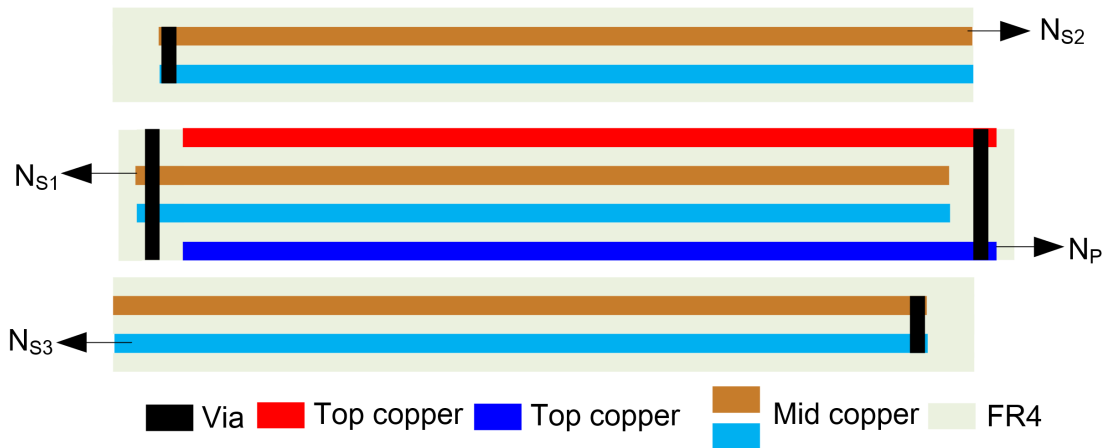


图 2.2 PCB 绕组横截面结构

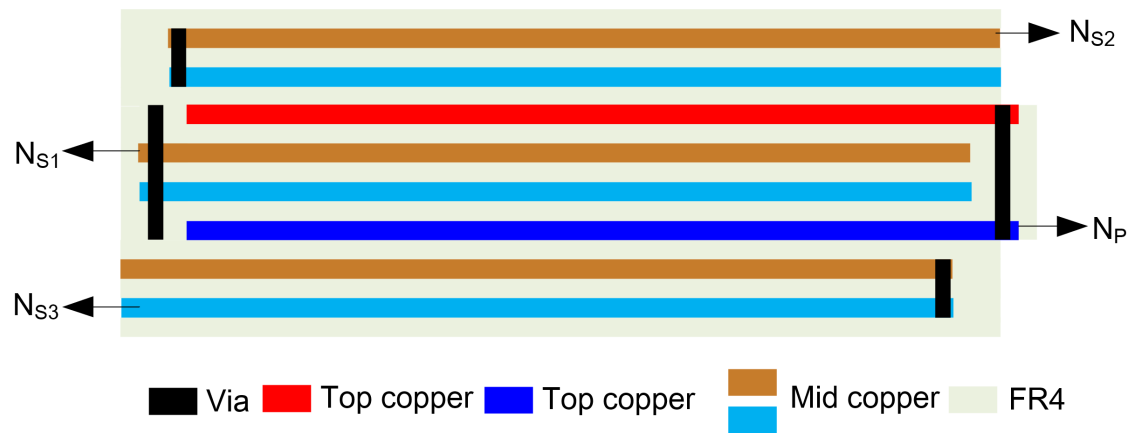


图2.3 单块 8 层板 PCB 绕组横截面结构

图2.4为PCB绕组的俯视布局图。外层（顶层/底层）使用2oz铜厚，内层使用1oz铜厚。公式(1)给出了铜绕组的趋肤深度与开关频率之间的关系，其中 δ 为趋肤深度， f 为开关频率。在250kHz开关频率和2oz铜厚（70 μ m深度）条件下，可以得出结论：趋肤深度（132 μ m）远大于铜层深度，因此平面变压器中不会产生额外的交流铜损。

$$\delta = 66\sqrt{1/f} \quad (1)$$

基于NSR2260x-Q1的 反激式平面变压器设计

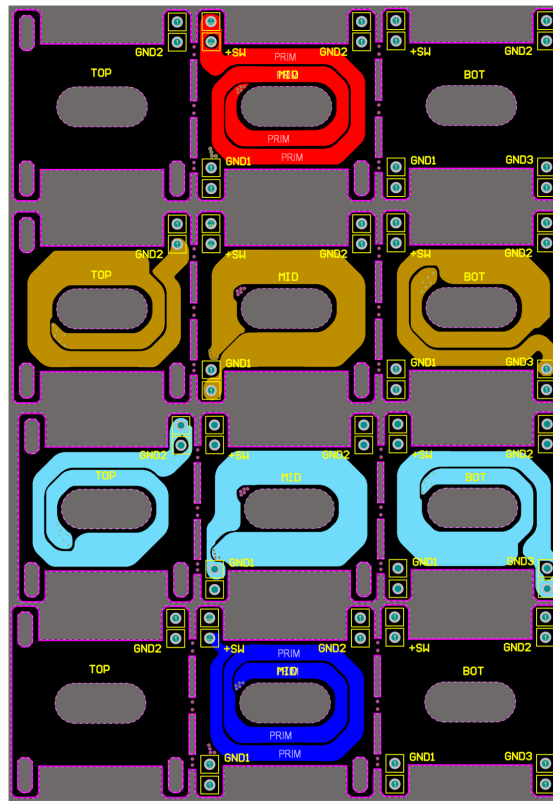


图 2.4 PCB绕组俯视布局图

3.测试数据

本节介绍了所设计的平面变压器与NSR2260x-Q1芯片的测试结果。图3.1为NSR2260x-Q1的评估模块（EVM）。

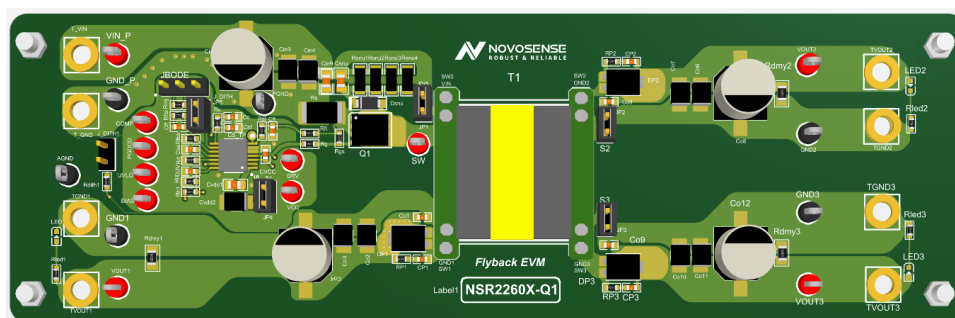


图 3.1 NSR2260x-Q1的评估模块

3.1.交叉调整率

I_{OUT1}	I_{OUT2}	I_{OUT3}	V_{OUT2} 交叉调整率	V_{OUT3} 交叉调整率
0	0	0	0.000%	0.000%
0	200mA	200mA	-6.3%	-6.21%
500mA	0	0	16.69%	16.85%
0	0	200mA	-6.61%	-15.29%
0	200mA	0	-8.93%	10.09%
500mA	200mA	0	8.44%	8%
500mA	0	200mA	-8.96%	-8.57%

表 3.1 交叉调整率表

3.2.满载效率

V_{IN}	I_{IN}	P_{IN}	V_{OUT1}	I_{OUT1}	V_{OUT2}	I_{OUT2}	V_{OUT3}	I_{OUT3}	P_{OUT}	EFF
11.95	1.5	17.92	14.41	0.5	22.09	0.197	21.97	0.198	15.878	88.6%

表 3.2 满载效率表

3.3.热性能

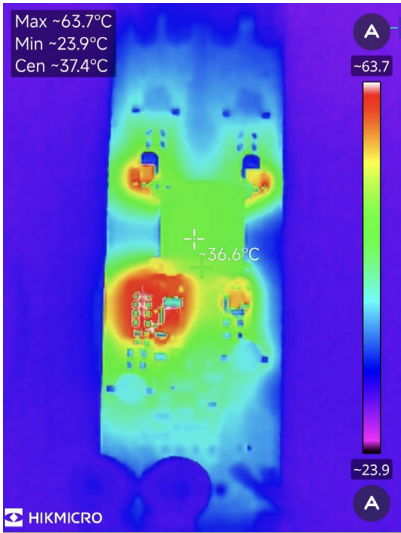


表 3.3 室温下满载热成像图片

基于NSR2260x-Q1的 反激式平面变压器设计

4.修订历史

版本	描述	作者	日期
1.0	初始版本	Shuai Fan	2025/11/12

销售联系方式: sales@novosns.com; 获取更多信息: www.novosns.com

重要声明

本文件中提供的信息不作为任何明示或暗示的担保或授权,包括但不限于对信息准确性、完整性,产品适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的陈述或保证。

客户应对其使用纳芯微的产品和应用自行负责,并确保应用的安全性。客户认可并同意:尽管任何应用的相关信息或支持仍可能由纳芯微提供,但将在产品及其产品应用中遵守纳芯微产品相关的所有法律、法规和相关要求。

本文件中提供的资源仅供经过技术培训的开发人员使用。纳芯微保留对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其他更改的权利。纳芯微仅授权客户将此资源用于开发所设计的整合了纳芯微产品的相关应用,不视为纳芯微以明示或暗示的方式授予任何知识产权许可。严禁为任何其他用途使用此资源,或对此资源进行未经授权的复制或展示。如因使用此资源而产生任何索赔、损害、成本、损失和债务等,纳芯微对此不承担任何责任。

有关应用、产品、技术的进一步信息,请与纳芯微电子联系(www.novosns.com)。

苏州纳芯微电子股份有限公司版权所有