



Joy Cho

摘要

高端电视和显示器的开关模式电源 (200W-500W) 通常采用交错式 (两相) 临界导通模式 (CrCM, 也称为转换模式 (TM)) PFC (功率因数校正) 块, 以提高效率并减小设计体积 (高度)。本应用手册介绍了如何在不改变拓扑和功率级的情况下, 通过提高效率来进一步降低功率损耗, 并缓解低交流线路条件下的散热问题。本文介绍了一个简易的外部电路, 并详述了其工作原理。根据负载情况, 测量结果显示效率提升了 1-2%。

内容

1 引言.....	2
2 交错式 PFC 工作原理.....	2
3 具有内部线路前馈块的原始 PFC 设计.....	3
4 使用 UCC28064A 内部线路前馈功能运行时的电流现象.....	3
5 使用 UCC28064A 实现自适应电流控制 PFC.....	4
6 原始 PFC 设计与自适应 PFC 设计的测试结果比较.....	5
7 总结.....	7
8 参考资料.....	7

插图清单

图 2-1. 交错式 PFC 块简介.....	2
图 3-1. UCC28064A 中的电压前馈功能块.....	3
图 4-1. 90Vac 至 264Vac 线路瞬态期间的高峰值电流.....	3
图 5-1. 通过 OCP 电平实现自适应 PFC 设计的概念.....	4
图 5-2. 使用 UCC28064A 实现自适应电流限制的外部电路.....	5

表格清单

表 6-1. 原始 PFC 设计与自适应 PFC 设计的温度结果比较.....	5
表 6-2. 采用自适应 PFC 设计比原始 PFC 设计实现的效率提升.....	5
表 6-3. 原始 PFC 设计和自适应 PFC 设计的 PF 测试结果比较.....	6
表 6-4. 原始 PFC 设计与自适应 PFC 设计的波形比较.....	6

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

在编写本应用手册之前设计和应用的开关电源 PFC 电路块中，FET 导通损耗引起的功率损耗差异在很大程度上取决于交流输入电压条件（即低压线路电压和高压线路电压），因此低压线路中的功率损耗大于高压线路中的功率损耗。具体而言，开关 FET 和 PFC 电感器产生的损耗要高于其他元件。为了改善该问题，该设计通过配置外部电路来修改交流低压线路的输出电流波形，以降低功率损耗，使其与高压线路相等，并确保与 PFC 连接的直流/直流模块稳定运行。

2 交错式 PFC 工作原理

UCC28064A 器件包含用于两个并联升压脉宽调制 (PWM) 电源转换器的控制电路。升压 PWM 电源转换器在升压电感器中斜升电流，时间周期与误差放大器输出端（COMP 引脚）的电压成正比。随后，每个电源转换器会关闭功率 MOSFET，直到升压电感器中的电流衰减至零（这在零电流检测输入 ZCDA 和 ZCDB 上进行检测）。在电感器退磁后，电源转换器便会启动另一个周期。这个过程会产生一个三角波电流，其峰值电流由导通时间和瞬时电源输入电压 $V_{IN}(t)$ 值决定，如方程式 1 所示。

$$I_{\text{peak}} = V_{IN} \times T_{\text{on}} / L \quad (1)$$

平均线路电流完全等于峰值线路电流的一半，如方程式 2 所示。

$$I_{\text{avg}} = 1/2 \times (V_{IN} \times T_{\text{on}} / L) \quad (2)$$

由于 T_{on} 和 L 的值在交流线路期间基本保持恒定，因此每个开关周期内产生的三角电流波形具有与整流交流线路电压的瞬时值成比例的平均值。这种架构会在线路频率下表现出阻性输入阻抗特性，并实现接近单位的功率因数。

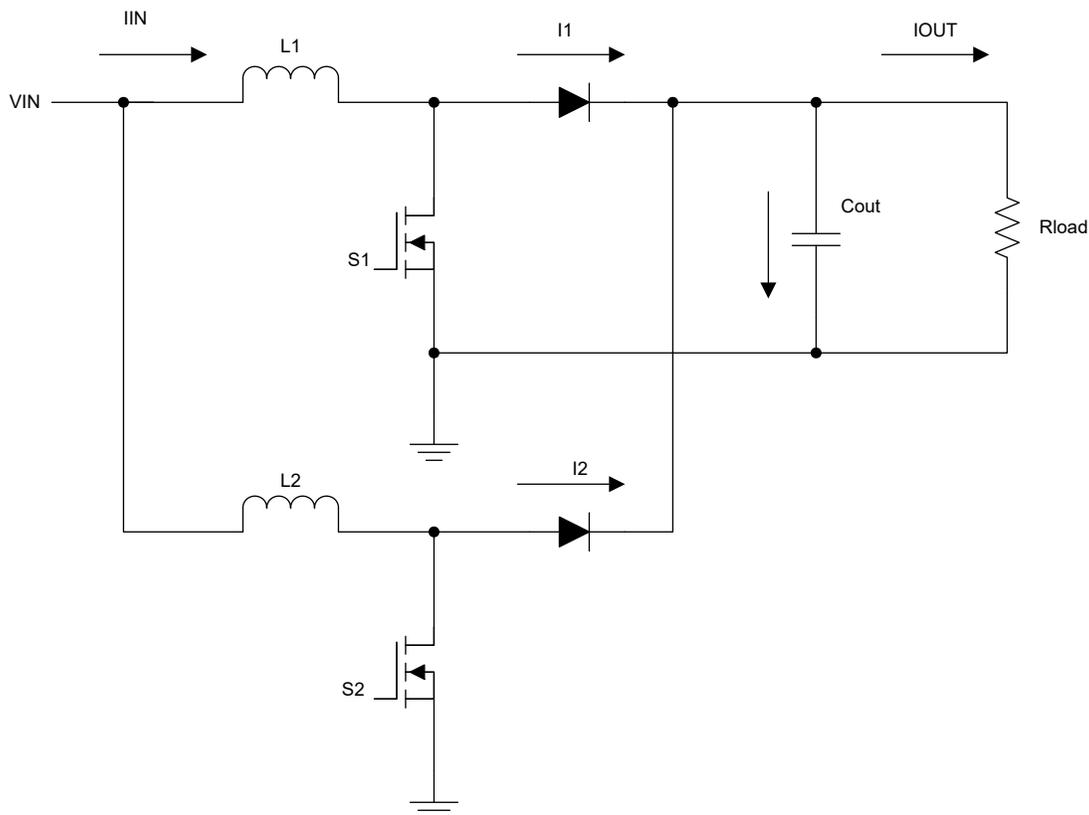


图 2-1. 交错式 PFC 块简介

3 具有内部线路前馈块的原始 PFC 设计

线路电压前馈补偿具备以下优势：

- 即使线路电压发生变化，也能保持控制环路的带宽恒定
- 当线路从低电平升到高水平时，防止 MOSFET、电感器和线路滤波器中出现高电流
- 有助于保持简单的相位管理控制

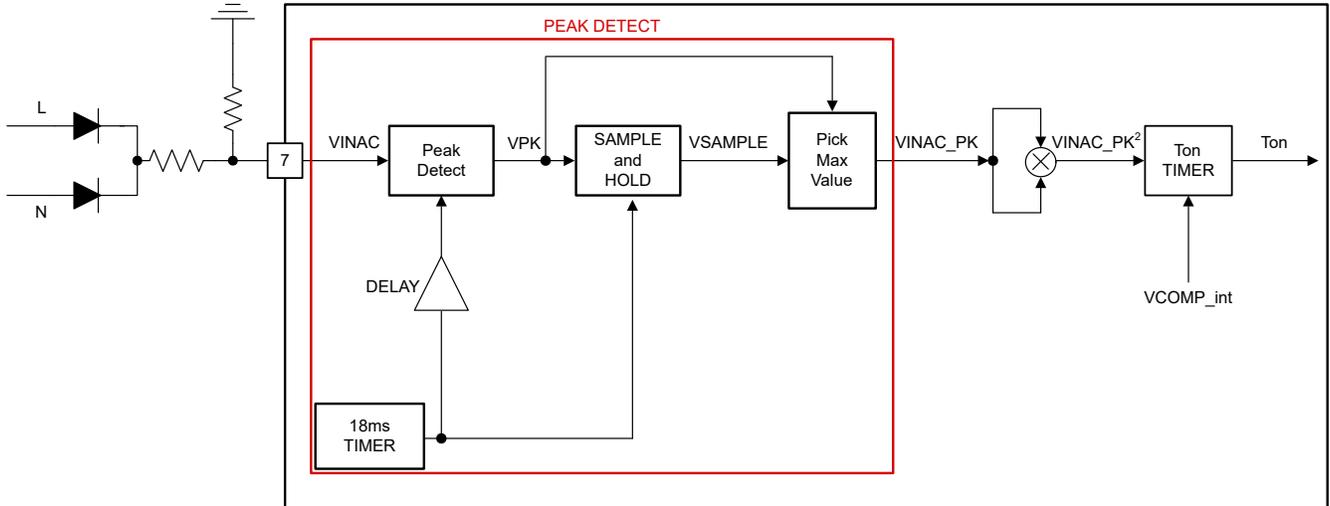


图 3-1. UCC28064A 中的电压前馈功能块

4 使用 UCC28064A 内部线路前馈功能运行时的电流现象

尽管内置了线路电压前馈补偿，我们仍希望通过配置外部电路来实现自适应 PFC 设计，以防止在线路从 90Vac 变为 264Vac 和从 264Vac 变为 90Vac 时，由于 PFC 补偿块响应速度慢和 PFC 块具有高电流限制，而导致出现比预期更大的峰值电流。

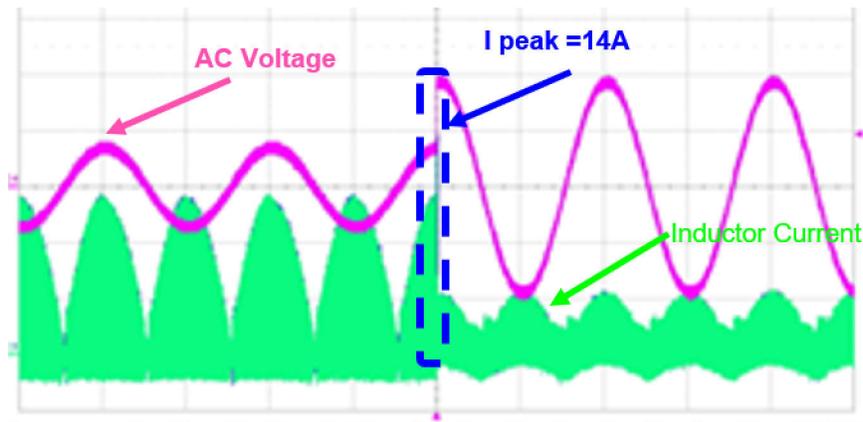


图 4-1. 90Vac 至 264Vac 线路瞬态期间的高峰值电流

5 使用 UCC28064A 实现自适应电流控制 PFC

需在交流低线路电压和满负载条件下才能实现自适应 PFC 性能，为此，必须降低视在 OCP 电平。首先，在低压线路和最大负载条件下，设置视在 OCP 电平以限制峰值电流，以至于无法保持正常的 V_{out} 。低于调节设定点的 V_{OUT} 可以驱动 V_{COMP} 达到最大导通时间，但 OCP 电平可以阻止 V_{out} 调节。当 V_{out} 降至目标阈值（本例中为 353V）时，比较器会进一步降低视在 OCP 电平，并且 OCP 状态锁定，直到负载减轻或 V_{in} 上升。

之后，与恒定导通时间控制相反，当开关频率降低时，电流在整个线路周期内流向 OCP 电平，并且电感器电流波形会从正弦波包络更改为梯形包络。

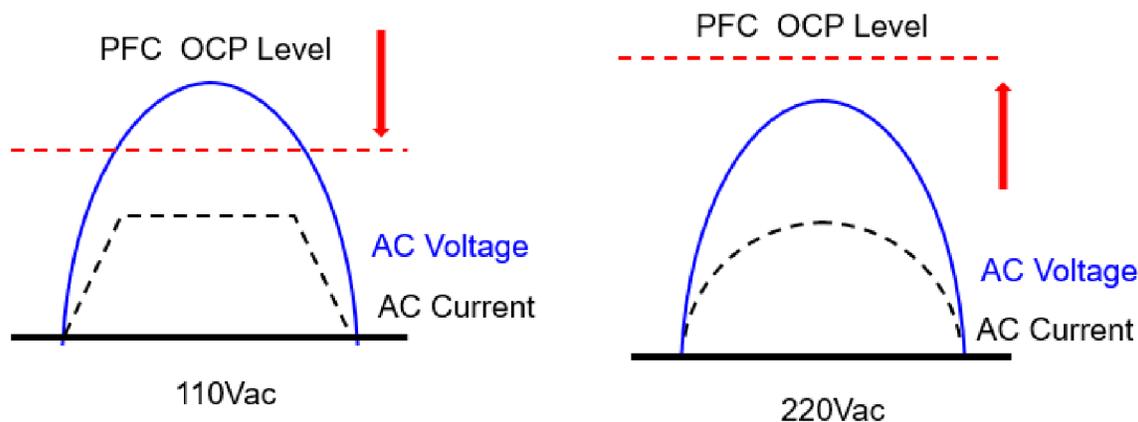


图 5-1. 通过 OCP 电平实现自适应 PFC 设计的概念

配置自适应电流限制外部电路（如图 5-2 所示），以便根据 PFC 输出电压调整电流限制电平。

以下列表详细介绍了采用 UCC28064A 的外部电路的工作机制。

使用 UCC28064A 的 CS 引脚参数，将 CS 电压电平从 -0.2V 调节到 -0.162V，并在 OCP 运行期间限制输出功率。为此，外部电路配置如下。

1. R6 和 R7 为比较器 (-) 输入设置 12V 的基准电压。R8 和 R9 构成一个分压器，用于将 V_{PFCOUT} 阈值设置为约 353V。
2. 在较高输入电压或较低负载条件下，PFC 输出电压可以保持稳定，而比较器输出为高电平，从而使 Q1 保持导通。
3. 当 Q1 导通时，R5 接地，而 R2 和 R4 在 R_{sense} 上构成一个 3kR/4kR 分压器，可将施加到 CS 输入端的电流检测电压降低 $\frac{3}{4}$ 。-0.2V 的内部 CS 阈值不会改变，因此 R_{sense} 峰值电压必须超过 -0.267V 才能触发 OCP。
4. 在低压线路和最大负载条件下，选择 R_{sense} 的值，使峰值电压能够触发 OCP，而峰值电感器电流不足以维持稳压。当 V_{PFCOUT} 降至 353V 阈值以下时，比较器输出变为低电平并关断 Q1。
5. 当 Q1 关断时，R5 与 R4 串联，R2 和 (R4+R5) 分压器在 R_{sense} 上构成 13kR/14kR 分压器，从而将施加到 CS 输入端的电流检测电压降低 $\frac{13}{14}$ 。-0.2V 的内部 CS 阈值不会改变，因此 R_{sense} 峰值电压必须超过 -0.215V 才能触发 OCP。这一变化为 $0.215/0.267 = 0.808$ ，有效地将内部的 -0.2V OCP 阈值更改为 -0.162V。这产生了一个有效的迟滞，可以进一步降低电感器的峰值电流，从而确保 V_{PFCOUT} 保持在 353V 以下。
6. 当输入电压上升或负载降低时，受 OCP 限制的电流可能允许 V_{PFCOUT} 上升到 353V 以上，并且比较器再次驱动 Q1 导通，而视在 OCP 限制升回正常状态。
7. R1 和 C1 仅用于噪声滤波，而不影响 OCP 阈值。尽管没有人清楚 R3 的具体作用，但由于该值足够高，因此不会影响 OCP 阈值。

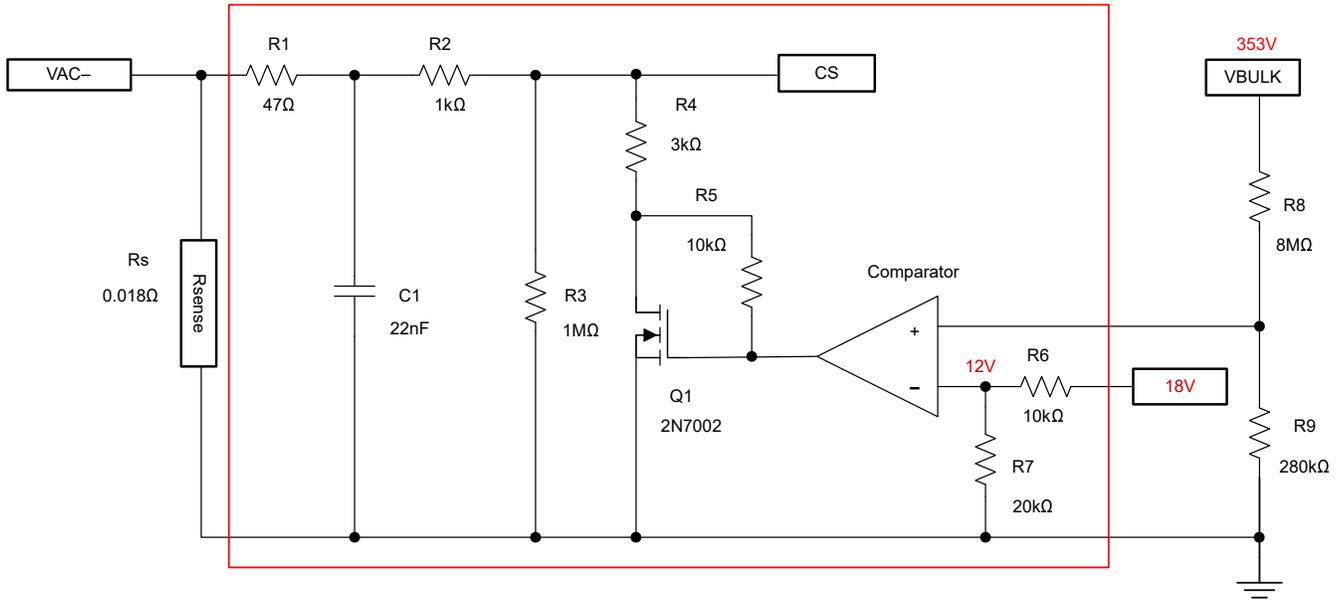


图 5-2. 使用 UCC28064A 实现自适应电流限制的外部电路

6 原始 PFC 设计与自适应 PFC 设计的测试结果比较

表 6-1 展示了采用自适应 PFC 外部电路设计与原始升压 PFC 设计相比，PFC 块元件（尤其是 PFC 电感器）的热测试结果（温度降低）。

表 6-1. 原始 PFC 设计与自适应 PFC 设计的温度结果比较

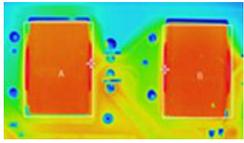
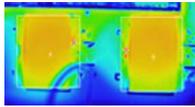
	原始交错式 PFC	交错式自适应 PFC	注释
电感器			
	EER3311 x 2EA	EER3311 x 2EA	
	140 μH, 0.1 Φ x30P	140 μH, 0.1 Φ x30P	
	71.5 °C	62.1 °C	10.4 °C ↓
FET	56.8 °C	52.7 °C	4.1 °C ↓
二极管	56.5 °C	52.6 °C	3.9 °C ↓

表 6-2 展示了在整个电路板条件下，采用自适应 PFC 外部电路设计与原始升压 PFC 设计相比，效率的测试结果（效率值提高）。

表 6-2. 采用自适应 PFC 设计比原始 PFC 设计实现的效率提升

输入电压	110Vac	230Vac
负载	效率提升	效率提升
25%	1.96%	0.69%
50%	1.11%	0.61%
75%	0.88%	0.43%
100%	0.62%	0.33%

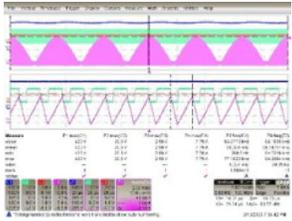
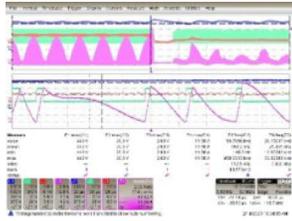
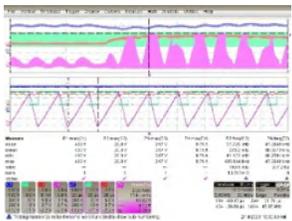
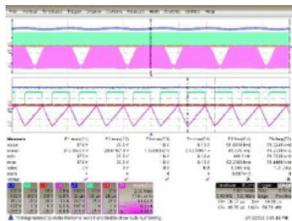
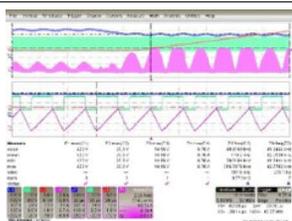
表 6-3 展示了在低交流输入条件下，采用自适应 PFC 外部电路设计与原始升压 PF 设计相比，功率因数 (PF) 的测试结果 (PF 值降低)。但 PF 标准为 0.9 或更高，即使采用自适应 PFC 设计，仍然能够满足此标准。

表 6-3. 原始 PFC 设计和自适应 PFC 设计的 PF 测试结果比较

输入电压	原始 PFC	自适应 PFC
90Vac	0.99	0.95
132Vac	0.99	0.95
230Vac	0.95	0.95
264Vac	0.94	0.94

表 6-4 显示了不同的比较波形，尤其是采用自适应 PFC 外部电路设计与原始升压 PFC 设计相比的电感器电流值。从比较波形可以看出，采用自适应 PFC 外部电路的电路板的电感电流值明显低于现有电路板。

表 6-4. 原始 PFC 设计与自适应 PFC 设计的波形比较

	原始 PFC	自适应 PFC
最大负载工作		
	ILmax = 7.79A (Vin : 90Vac , Vout : 395V)	ILmax = 6.13A (Vin : 90Vac , Vout : 353V)
正常运行		
ILmax	ILmax = 7.09A (Vin : 90Vac , Vout : 395V)	ILmax = 5.62A (Vin : 90Vac , Vout : 353V)
线路瞬态运行 (264Vac 至 90Vac)		
ILmax	ILmax = 9.71A	ILmax = 6.70A

备注

CH1 (黄色) : VPFC 输出, CH2 (红色) : GDA, CH3 (蓝色) : VCOMP, CH4 (绿色) : 电感器

7 总结

在采用上述自适应电流 PFC 设计后，通过进行各种测试和各种波形测量，我们发现低电压运行期间 PFC 块元件的电感电流值增加过多和温升等问题得到了改善，而且即使在 90Vac 至 264Vac 或 264Vac 至 90Vac 的线路瞬态条件下，这些问题也得到了解决。总之，通过采用自适应电流 PFC 外部电路，实现了所需的性能。

8 参考资料

- 德州仪器 (TI), [UCC28064A 具有高轻负载效率的 Natural Interleaving™ 转换模式 PFC 控制器](#), 数据表。

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、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暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司