

如何选择散热性能良好的高功率可扩展式POL调节器并节省电路板空间

作者: Afshin Odabae

共享



从事高效、紧凑式DC-DC转换器设计艺术的是一群精英工程师，他们对转换设计相关物理学原理和相关数学知识有着深入的理解，还拥有丰富的实践工作经验。凭借对波特图、麦克斯韦方程组以及极点和零点的深入理解，他们可以打造出优雅的DC-DC转换器设计。然而，IC设计师通常会回避棘手的散热问题——这项工作通常属于封装工程师的职责范围。

在负载点(POL)转换器中，专用IC之间的空间有限，因此散热是个大问题。POL调节器会产生热量，因为(目前)还没有电压转换的效率能达到100%。受结构、布局 and 热阻影响，封装会变得多热？封装的热阻不仅会提高POL调节器的温度，还会增加PCB及周围组件的温度，因而会增加系统散热机制的复杂性、尺寸和成本。

PCB上的DC-DC转换器封装主要有两种散热方式：

通过PCB散热：

如果转换器IC采用表贴封装，则PCB上的导热性铜通孔和隔层会从封装底部散热。如果封装对PCB的热阻很低，采用这种散热方式足矣。

增加气流：

利用冷气流去除封装的热量（更准确地说，热量被转移到与封装表面接触的快速运动的较冷空气分子中）。

当然还有被动式散热法和主动式散热方法，但为简化讨论，我们将它们视为第二类的子集。

面对上升的组件温度，PCB设计师可以从标准散热工具箱里去找常用的工具，比如增加铜，加装散热器，使用更大、更快的风扇，也可以简单地增加空间——使用更多PCB空间，增加PCB上组件之间的距离，或者增加PCB层的厚度。

任何这些工具都可以用在PCB上，使系统温度维持在安全限值以内，但是使用这些补救措施会降低最终产品在市场上的竞争优势。产品(如路由器)可能需要使用更大的外壳，才能在PCB上为组件留出必要的间隔空间；如果加装速度更快的风扇以增加气流，结果可能会增加噪声。这可能会使最终产品在市场上失去优势，因为企业的竞争优势体现在紧凑性、计算能力、数据速率、效率和成本等方面。

要在高功耗POL调节器周围成功实现散热管理，就需要选择正确的调节器，而这又要求进行仔细的研究。本文将展示如何通过选择正确的调节器简化电路板设计师的工作。

切勿仅凭功率密度来判断POL调节器

市场上有多种因素要求我们完善电子设备的散热性能。最为明显的是，即使产品尺寸不断缩小，性能也会持续提升。例如，28 nm至20 nm和亚20 nm级的数字器件需要较大功耗才能达到性能要求，因为创新设备设计师要用这些小型工艺生产更快、更小、更安静、更高效的器件。从这一趋势可以得出的明显结论是POL调节器必须提高功率密度：(功率)/(体积)或(功率)/(面积)。

不足为奇的是，在有关调节器的文献中，功率密度一般被当作一项重要指标。较大的功率密度可使调节器脱颖而出——当设计师从众多调节器中进行选择时可以作为参考指标。40 W/cm² POL的调节器必然优于30 W/cm²的调节器。

产品设计师想把更高的功率塞进更紧凑的空间中——乍一看，超高的功率密度数值似乎是实现最快、最小、最安静、最高效的产品的最佳途径，就如用马力比较汽车性能一样。但是，功率密度在实现成功的最终设计方面到底有多重要？可能不如你想象的重要。

POL调节器必须符合其应用的要求。选择POL调节器时，必须确保其具备在PCB上完成任务的能力，因为热量处理既可能成就应用，也可能毁掉应用。以下是针对POL调节器的逐步选择流程建议，其中突出了热性能的重要性：

忽略功率密度数值：

功率密度指标忽略了热衰减问题，但该问题对真实有效功率密度的影响要大得多。

检查调节器的热衰减曲线：

配有完整文档并且技术指标齐全的POL调节器应该配有对应的图形，其中标示了不同输入电压、输出电压和气流风速下的输出电流。数据手册应该展示POL调节器在真实工作条件下的输出电流能力，以便从热性能和负载电流性能的角度判断调节器的适用性。是否符合系统的典型和最大环境温度 and 气流风速要求？记住，输出电流热衰减与器件的热性能相关。二者密切相关，同等重要。

效率考虑：

是的，效率不是第一考虑因素。独立使用时，效率结果可能无法准确体现DC-DC调节器的热特性。当然，效率值对于计算输入电流和负载电流、输入功耗、功率损耗和结温是必不可少的。效率值必须与输出电流衰减和与器件及其封装相关的其他热数据结合使用。

例如，效率为98%的DC-DC降压转换器是非常不错的；如果它的功率密度值也非常出色，无异于锦上添花。与效率更低、功率密度更低的调节器相比，你会买它吗？精明的工程师应该问问看似不重要的2%效率损失有什么影响。在运行过程中，这些功耗会对封装温度的升高产生什么样的影响？在60°C环境温度以及200 LFM（线性英尺/分）的风速下，高功率密度型高效调节器的结温有多高？不要只看25°C室温下的典型值。极温下的最大值和最小值是多少：-40°C、+85°C或+125°C？高功率密度下，封装热阻会升高到非常高的水平使结温快速超过安全工作温度吗？效率很高但价格昂贵的调节器要求多少衰减？衰减输出电流值会不会削弱输出功率性能，从而使器件的额外成本失去意义？

考虑POL调节器冷却的便利性：

数据手册中的封装热阻值是模拟和计算器件结温、环境温度和外壳温度的关键。由于表贴式封装中会有大量热量从封装底部流到PCB电路板，所以，必须在数据手册中标明有关热量测量的布局指引和讨论结果，以减少系统原型开发过程出现的突发情况。

设计精良的封装应该通过表面高效、均匀地散热，从而消除可能导致POL调节器性能出现衰减的热点。如上所述，PCB负责吸收和路由来自表贴式POL调节器的大部分热量。随着强制气流散热方式在当今的高密度和高复杂度的系统中日渐流行，设计精良的POL调节器也应该利用这一免费的冷却机会，为MOSFET、电感等发热部件散热。

把热量从封装顶部引至空气中

高功率开关POL调节器用电感或变压器把输入电源电压转换成稳压输出电压。在非隔离式降压POL调节器中，器件采用电感。电感和相关开关元件（如MOSFET）在DC-DC转换过程中会产生热量。

大约十年前，封装技术取得显著进步，使得包括磁体在内的整个DC-DC调节器电路均可被设计和安装在称为模块或SIP的超模压塑封装中。在该超模压塑封装中，产生的大部分热量都被通过封装底部路由至PCB。试图改善封装散热能力的任何常规做法（比如在表贴封装顶部加装一个散热器）都会增大封装尺寸。

几年前，一种新型模块封装技术被开发出来，利用气流辅助冷却。在该封装设计中，一个散热器被集成到模块封装当中并经嵌件注塑处理。在封装内部，散热器底部直接连接MOSFET和电感，散热器的顶面则是一个平面，裸露在封装顶部。借助这种新型封装内散热技术，用气流即可使器件快速冷却下来（有关示例，请点击[此处](#)，观看LTM4620 TechClip视频）。

采用垂直模式：以堆叠式电感作为散热器的POL模块调节器

POL调节器中的电感的大小取决于电压、开关频率、电流处理性能及其结构。在模块化设计中，DC-DC电路（包括电感）被超模压塑并密封在塑料封装中，与IC类似；电感而非任何其他组件决定封装的厚度、体积和重量。电感也是一个重要的热源。

把散热器集成到封装中有助于将来自MOSFET和电感的热量传导至封装顶部，从而散发到空气、冷板或无源散热器中。在可以轻松将较小的低电流电感装进封装塑料模具材料的情况下，这种技术非常有效；但在POL调节器需要采用大型高电流电感的情况下，由于要把磁体装进封装就必须扩大其他电路组件的间距，会大幅增大封装PCB占位面积，所以其有效性会大打折扣。为了既保持较小的占位面积又改进散热性能，封装工程师开发了另一种技术——垂直、堆栈或称3D（图1）。

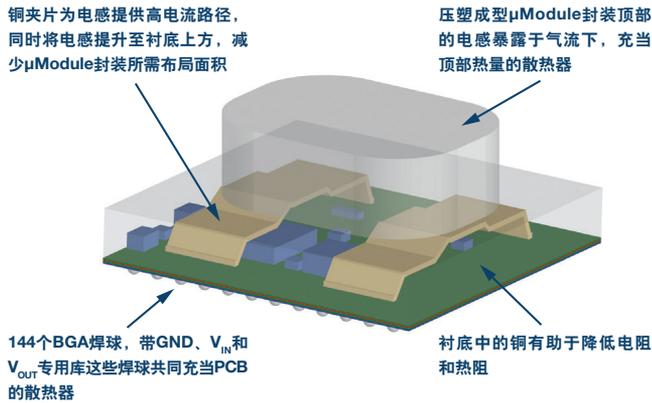


图1. 高功率POL调节器模块运用3D（垂直）封装技术升高电感位置并使电感作为散热器暴露在气流下。剩下的DC-DC电路装配在电感下方的衬底上，既能减少需要的PCB面积，又能改善热性能。

采用裸露堆叠式电感的3D封装，保持较小的占位面积，提高功率，完善散热

较小的PCB占位面积、更高的功率和更好的散热性能——有了3D封装（一种新型POL调节器构造方法，见图1），可以同时实现这三个目标。LTM4636是一款μModule®调节器，板载DC-DC调节器IC、MOSFET、支持电路和一个大型电感，可减少输出纹波，提供最高40A的负载电流，输入电压为12V，精密调节输出电压范围为0.6V至3.3V。4个LTM4636器件并联可以通过电流共享方式提供160A的负载电流。封装的占位面积仅为16 mm × 16 mm。该系列另有一款调节器LTM4636-1，可以检测过温和输入/输出过压条件，并且能断开上行电源或断路器以保护自己及其负载。

功率至上者可以计算LTM4636的功率密度，并对计算得到的数值感到满意——但如前所述，功率密度数值并非全部。这款μModule调节器还能给系统设计师的工具箱带来其他显著优势：卓越的DC-DC转换效率和无与伦比的散热能力成就出色的散热性能。

为了尽量减小调节器的占位面积(16 mm × 16 mm BGA)，将电感抬高并固定在两个铜引线框架上，以便把其他电路组件（二极管、电阻、MOSFET、电容、DC-DC IC）装在其下方的衬底上。如果将

电感装在衬底上，μModule调节器可以轻松占用超过1225 mm²而非256 mm²的PCB面积（图2）。

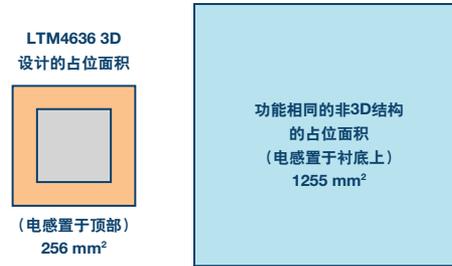


图2. 作为一款完整的POL解决方案，LTM4636堆叠式电感兼任散热器之职，可实现卓越的散热性能，具有占位面积小巧的特点。

借助堆叠式电感结构，系统设计师既可打造出紧凑的POL调节器，同时还可享有卓越的散热性能。与其他组件不同，LTM4636中的堆叠式电感未采用超模压塑（密封）封装，而是直接暴露在气流下。电感外壳的形状采用圆角设计，以提高空气动态性能（减少对气流的阻碍）。

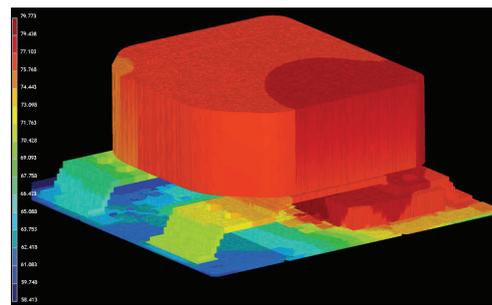


图3. LTM4636的模拟散热行为显示，热量可以被轻松转移到暴露在气流下的电感封装上。

散热性能和效率

主体是16 mm × 16 mm × 1.91 mm超模BGA封装。LTM4636的电感堆叠于超模成型部分的顶部，从BGA焊球（共144个）底部到电感顶部的封装总高度为7.16 mm。

除了从顶部散热以外，LTM4636还采用了专门设计，可以高效地把来自封装底部的热量散发到PCB。这款器件有144个BGA焊球，高电流在GND、V_{IN}和V_{OUT}专用库中流动。这些焊球共同充当PCB的散热器。LTM4636经过优化，可以同时散发来自封装顶部和底部的热量，如图3所示。

即使在较大转换比、12 V输入/1 V输出、40 A (40 W)的全负载电流和200 LFM的标准气流条件下，LTM4636封装的温度也只会比环境温度（25°C至26.5°C）高40°C。图4所示为LTM4636在这些条件下的热图。

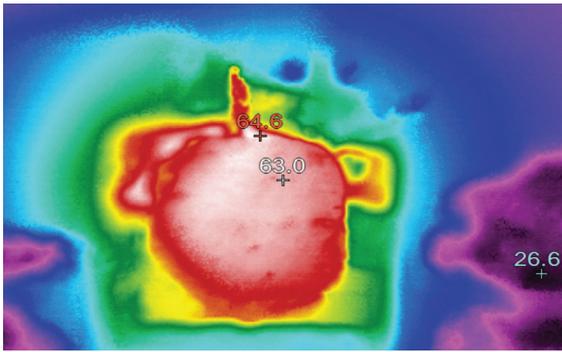


图4. 调节器在40 W下的热性能结果表明, 温度只会提高40°C。

图5所示为输出电流热衰减结果。在200 LFM下, LTM4636的性能非常出色, 可输出40A的全电流, 环境温度最高为83°C。20A半电流衰减只会出现在环境温度达到110°C时。这样, 只要有气流, LTM4636都能在高容量下运行。

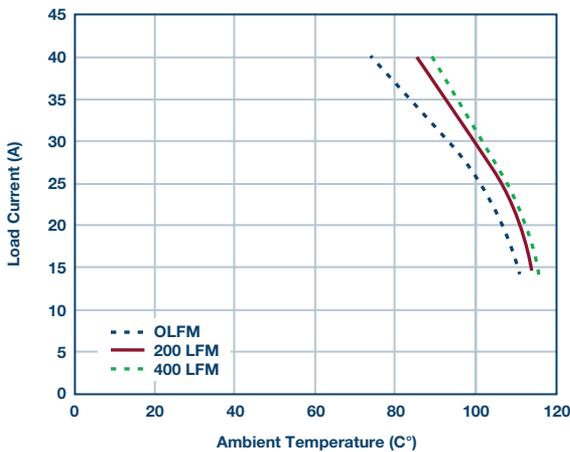


图5. 热衰减表明在83°C最高环境温度、200 LFM下, 全电流可达40 A。

图6所示高转换效率主要归功于高性能MOSFET和LTM4636超强的性能。例如, 12V输入电源降压DC-DC转换器可以实现:

- ▶ 95%, 12 V输入电压转换为3.3 V, 25 A
- ▶ 93%, 12 V输入电压转换为1.8 V, 40 A
- ▶ 88%, 12 V输入电压转换为1 V, 40 A

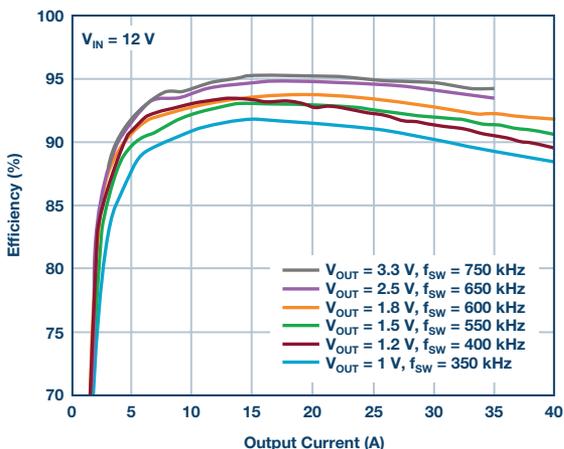


图6. 多种输出电压下的高DC-DC转换效率。

带热平衡的140 W可扩展式4 A × 40 A μModule POL调节器

一个LTM4636的额定输出负载电流为40 A。在电流共享模式(或并联)下, 2个LTM4636可以支持80 A, 4个可以支持160 A。通过并联LTM4636的方式提高电源电流非常简单, 只需复制和粘贴单个调节器的占位面积即可, 如图7所示(提供符合和占位面积)。

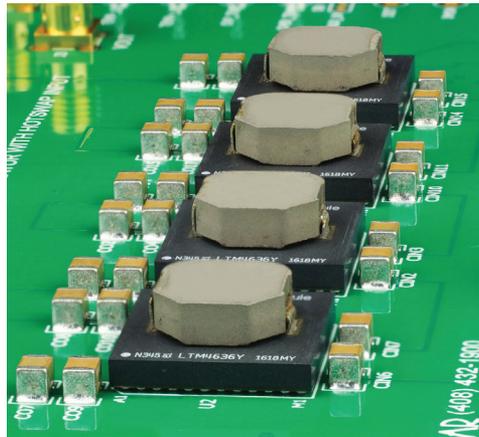


图7. 并联LTM4636设计起来非常简单。只需复制一个通道的布局即可。

借助LTM4636的电流模式结构, 可以在多个40 A模块之间实现精确电流共享。在精密电流共享模式下, 电流会把热量均匀地分布在各个器件上。图8所示160 A调节器有4个μModule模块。在满足这些指标下, 所有器件的工作温度都能相互平衡, 确保任何单个器件都会过载或过热。这就极大地简化了散热机制的设计。

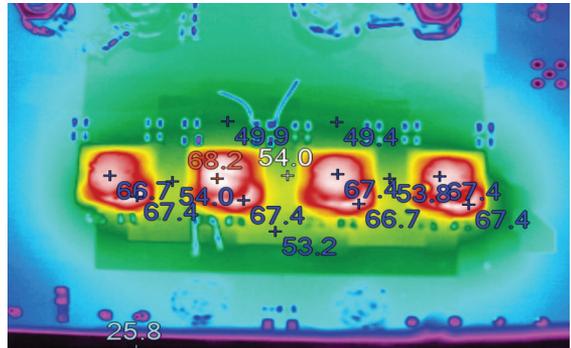


图8. 并行运行的4个LTM4636之间的精确电流共享, 在160 A应用中, 温度仅升高40°C。

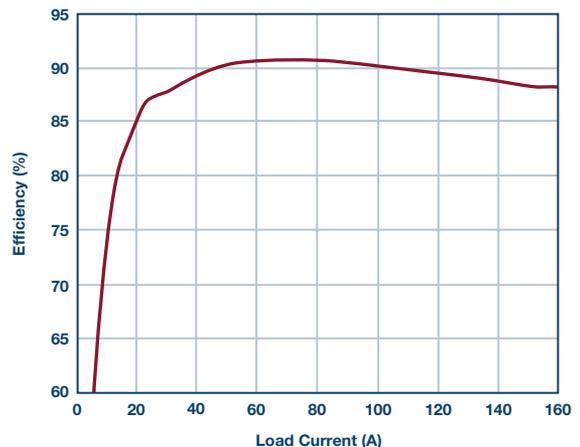


图9. 带4个μModule模块的140 W调节器的效率。

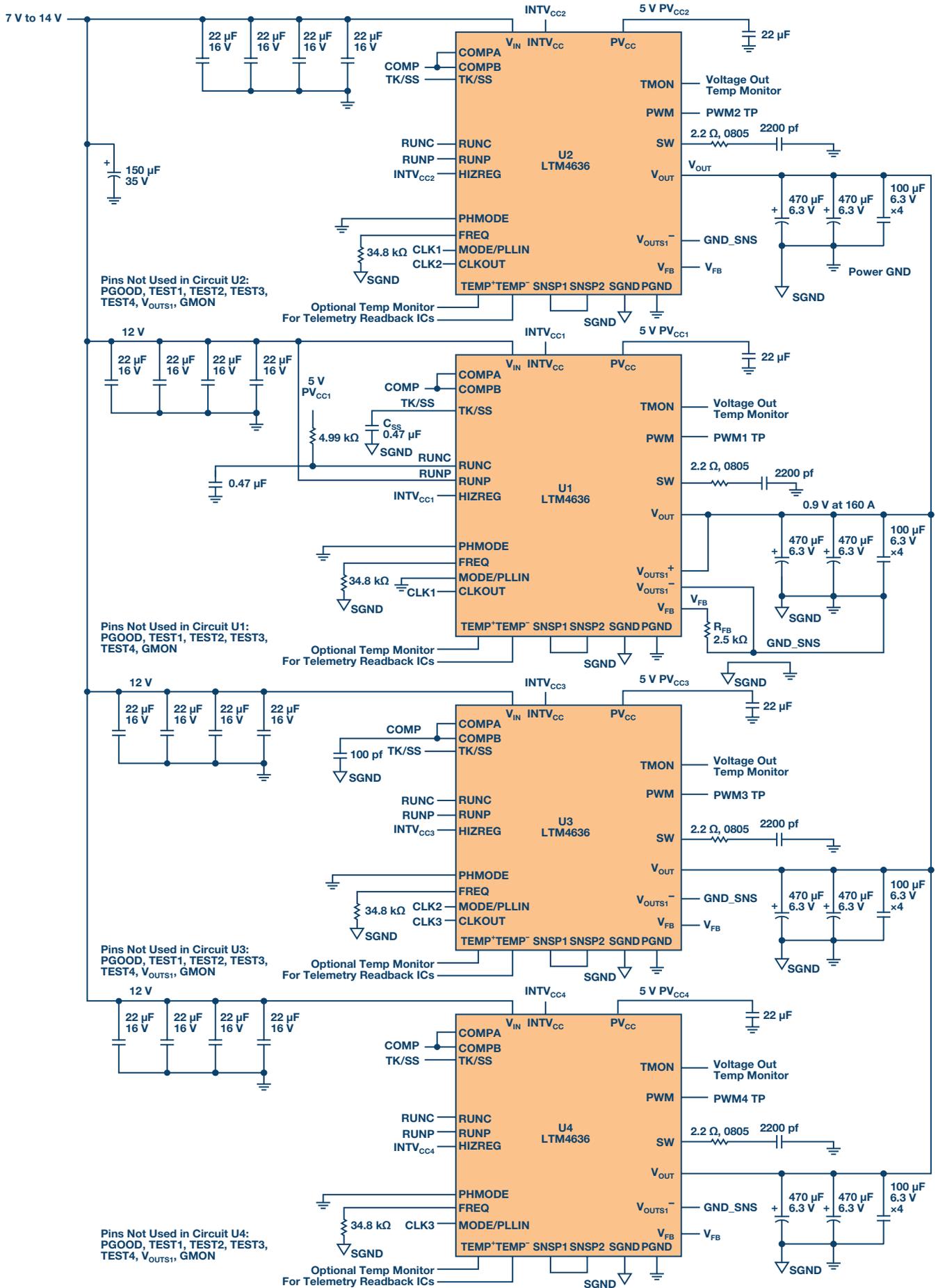


图10. 这款140 W的调节器搭载4个并行运行的LTM4636, 采用精确电流共享模式, 在160 A应用中, 12 V输入电压转换为0.9 V输出电压的效率非常出色。

图10所示为完整的160A设计。注意，LTM4636无需时钟器件即可相互反相工作——包括时钟和相位控制。多相工作模式下可以减少输出和输入纹波电流，从而减少所需输入和输出电容的数量。在图10中，4个LTM4636相互反相90°。

结论

为密集型系统选择POL调节器，仅仅检查器件的额定电压和额定电流是不够的。必须评估器件封装的热特性，因为此项指标决定着冷却成本、PCB的成本以及最终产品的尺寸。使用3D（也称为堆叠、垂直技术）CoP封装，可以将高功率POL模块调节器放在较小的PCB空间中，但更重要的是，可以实现效率冷却。LTM4636是从这种堆叠式封装技术受益的第一个 μ Module调节器系列。作为一款以堆叠式电感作为散热器的40 A POL μ Module调节器，其效率高达95%至88%，全负载下温度最多升高40°C，PCB占用面积只有16 mm \times 16 mm。请前往linear.com/LTM4636观看有关LTM4636的视频。

Afshin Odabae [afshin.odabae@analog.com]是 μ Module功率产品与DC-DC控制器IC部门的业务开发总监。他于1994年获得美国加州圣塔克拉拉大学电气工程学士学位，研究重点为模拟器件。他已在ADI公司工作21年，从事过的工作涉及运算放大器、基准电压源和DC-DC调节器，后来受命负责发起和支持 μ Module功率产品开发项目。



Afshin Odabae