

汽车应用受益于多相升压器

◆ 凌力尔特公司产品市场工程师/Bruce Haug

◆ 设计工程师/Tick Houk

背景

大功率降压型 DC/DC 转换器长期以来一直受益于多相工作。但是多相工作的所有优点（诸如更低的输入和输出纹波电流、更低的输出噪声和更低的组件压力）还可以在升压型应用中实现。用在降压型应用中的很多控制器还可于升压型应用中使用，而且一般有两个相位，这也许无法提供足够的输出功率或有能力保持相位电流平衡。它们通常还需要额外的支持组件（像栅极驱动器、额外的偏置电压和一个外部误差放大器）以组成完整的电路。

直到最近，由于缺乏可用的多相升压型控制器，大多数大功率升压型转换器都采用非优化解决方案。最常见的两相非同步升压型转换器解决方案一直使用两项同步降压型控制器的上端驱动器，该控制器配置为驱动两个 180° 反相的下端功率 MOSFET。另一种解决方案使用两个或更多单相升压型控制器和一个外部时钟电路，以实现所需的通道至通道相位关系。其它非优化解决方案在非隔离式升压型配置中采用推挽或双路交错正向控制器。不过，所有这些解决方案都受到一些重大缺点的困扰，这些缺点限制了它们在今天很多要求苛刻的应用中的使用。

在汽车环境中，下一代低辐射柴油燃料注入系统在 $70V \sim 110V$ 的输出电压范围需要高达 $2A$ 的输出电流，用一个 $12V$ 电池提供可能从 $9V$ 变化到 $28V$ 的电压。这种输入至输出电压转换需要一个能以高于 92% 占空比和恒定频率工作的升压型转换器。

此外，大功率汽车音频放大器常常需要一个范围为 $25V \sim 35V$ 的主电源轨，并能提供接近 $1000W$ 的峰值功率，从而使多相工作必不可少。通过将功率级分成多个并行相位，电源组件上的热压力降低了，因

此降低了输出电压纹波和噪声，从而允许使用更小的输出电容器并提高了系统效率。

随着功率密度不断提高，多相升压型设计成为保持输入电流可管理、提高效率并提高功率密度的必然选择。随着有关汽车节能的法令更加普遍，多相转换器拓扑也许是实现这些设计目标的惟一方法。一个围绕凌力尔特公司 LTC3862 开发的两相或更多相的转换器可以显示这类方法的益处。

一种多相解决方案

LTC3862 是一个非同步多相控制器，能以升压、SEPIC 和反激式拓扑工作。这个控制器采用恒定频率、峰值电流模式控制电路，该电路具有两个以 180° 反相工作的功率级。每个功率级都由单个电感器、MOSFET、肖特基二极管和电流检测电阻组成。这两个相位是完全平衡的，具有严格的电流限制门限、以及高度准确和从 ITH 引脚（误差放大器的输出）到电流比较器检测输入的转移函数，这都是从通道至通道和从芯片至芯片的。由于这样，电感器峰值电流匹配保持准确，从而在多相应用中强制实现平衡电流。

在一个两相转换器中，只需要一个 LTC3862 IC，而且其两个输出级为 180° 反相。在一个 3 相转换器中，需要两个 LTC3862 芯片（两个通道来自主控制器，一个通道来自从属控制器），其输出级相位相差 120° 。类似地，一个 4 相转换器使用两个 LTC3862 IC，通道之间相位相差 90° 。就这样直到 12 相应用，这里要使用 6 个芯片，通道之间相位相差 30° 。通过将电流分到多个电源通路中，可以降低传导损耗，而且热压力可以在更多的组件间以及更大的

电路板面积上均分，输出噪声也可以极大地降低。反过来，就一个给定的输出电压纹波而言，多相工作将导致更小的总输出电容，这在高压应用中尤其重要，因为高压应用中输出电容器的电压系数一般会降低有效电容。

LTC3862 含有两个 PMOS 输出级低压差 (LDO) 稳压器，一个用于强大的片上栅极驱动器（含有 2.1Ω PMOS 提供晶体管和 0.7Ω NMOS 吸收晶体管），另一个 LDO 用于低压模拟和数字控制电路。低压差工作允许输入电压在电路工作受到影响之前降至更低值。这在汽车应用中尤其重要，因为引擎冷车发动可能导致电池电压降到低至 $4V$ 。LTC3862 为逻辑电平 MOSFET 提供一个 $5V$ 栅极驱动，而 LTC3862-1 提供一般为更高输出电压应用所需的 $10V$ 栅极驱动。

一种低辐射柴油燃料注入系统电源

图1说明一个为低辐射柴油燃料注入系统而设计的升压型转换器。这个转换器在宽输入电压范围内工作，以适应汽车电池从冷车发动情况到猛然启动

的双重电池连接情况所发生的变化。由于宽输入电压范围 ($8.5V \sim 36V$)，该转换器必须能以非常高的占空比工作，并仍然保持恒定频率工作。LTC3862 有大约 $180ns$ 的最短接通时间和 96% 的最大占空比，这两个参数都是用户可编程的。 $75kHz \sim 500kHz$ 的工作频率可用单个电阻编程，一个锁相环可用来将工作频率同步到一个外部时钟源。例如，图 1 中所用的功率 MOSFET 是 Renesas 公司的 HAT2267H，一个具 $5A$ 饱和电流额定值的 $57\mu H$ 电感器和一个仅为 $107\mu F$ 的总输出电容是必要的。输出电容由两个 $47\mu F$ 的铝电解质大容量电容器组成，它们与 6 个低 ESR $2.2\mu F$ 陶瓷电容器并联，以满足输出电压纹波和 RMS 电流需求。这种配置还将输出电压纹波限制到仅为 $500mV$ 。

这个电路在 $32V$ 输入电压时以 96% 的峰值效率工作。因为单端升压型转换器调节低端开关的源极电流，所以能提供给负载的最大电流是输入电压的函数。结果，这个转换器在 $8.5V$ 输入时能向负载提供 $0.5A$ 电流，在 $24V$ 输入时能提供 $1.5A$ 电流，在 $32V \sim 36V$ 输入时为 $2A$ 。

LTC3862 的两个引脚 CLKOUT 和 PHASEMODE

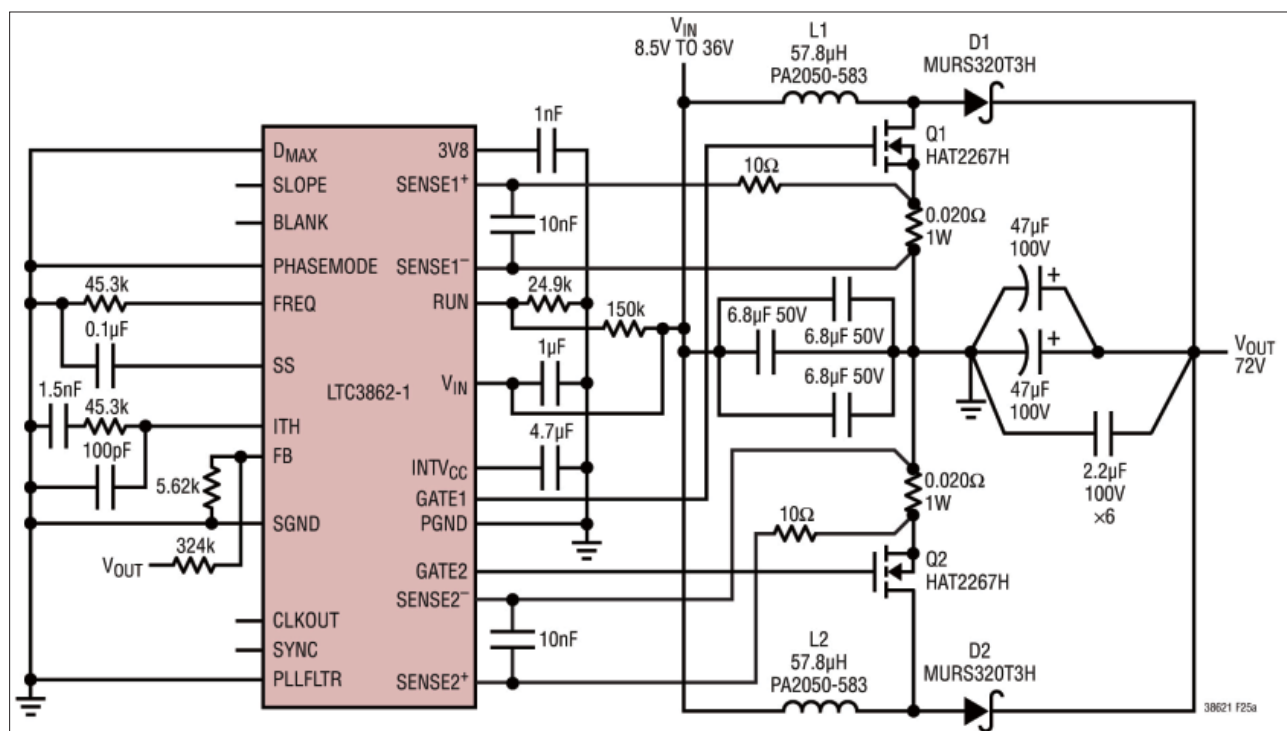


图1：采用 LTC3862-1 的两相、72V 输出、低辐射汽车燃料注入系统升压型转换器

表1: 对通道间的相位关系编程

PHASEMODE	通道 1 到通道 2 的相位	通道 1 到 CLKOUT 的相位	应用
SGND	180°	90°	两相, 4 相
浮动	180°	60°	6 相
3V8	120°	240°	3 相

允许多个 IC 以菊花链方式链接到一起, 以实现更大电流的多相应用。就一个 3 或 4 相设计而言, 主控制器的 CLKOUT 信号连接到从属控制器的 SYNC 输入, 以同步附加功率级, 实现单个大电流输出。PHASEMODE 引脚用来调节通道 1 和 CLKOUT 之间的相位关系, 如表 1 总结的那样。相位相对于 0° 计算, 定义为 GATE1 输出的上升沿。在一个 6 相应用中, 主控制器的 CLKOUT 引脚连接到第二个控制器的 SYNC 输入, 而第二个控制器的 CLKOUT 引脚连接到第三个控制器的 SYNC 输入。

其它特点

LTC3862 误差放大器是一个跨导放大器, 这意味着它有高 DC 增益和高输出阻抗。这种类型的误差放大器极大地减轻了实现一个多相解决方案的任务, 因为这些由两个或更多控制器组成的放大器可以并联连接。在一个需要多于一个 IC 的多相应用中, 所有 FB 引脚都应该连接到一起, 所有 ITH 引脚也都应该连接到一起。这个误差放大器的复合跨导就是连接在一起的 IC 数量之和与每个放大器的 $660\mu\text{s}$ 相乘所得的乘积。误差放大器的这种并联连接不可能由采用真正运算放大器的控制型 IC 实现, 因为这种类型的放大器具有非常低的输出阻抗。

除了采用可并联的误差放大器, 从 ITH 引脚到电流检测比较器的转移函数是非常准确, 以尽可能提供最佳的通道至通道和芯片至芯片电流检测门限匹配。这种相位到相位的电流匹配在大电流应用中尤其重要, 因为在这类应用中电阻损耗与电流的平方成正比。最大限度地减小通道间的失配误差可产生一个平衡的热设计, 这防止在 PCB 上出现热点和可能的热失控现象。

LTC3862 每个相位的最大电流检测门限为 75mV, 这允许使用一个相对较低的功率检测电阻,

从而减小了电路尺寸、提高了效率并消除了对电流检测变压器的需求。它还包括用于电流检测输入的前沿消隐, 这样就不需要外部 RC 滤波器了。尽管如此, 有些用户也

许受益于增加一个如图 2 所示的外部滤波器。如果外部 RC 滤波器用在电流检测输入端, 那么滤波器组件就应该尽可能靠近 SENSE 引脚放置, 而且到检测电阻的连接应该相互, 并行并以开尔文连接方式连接到电阻, 以避免寄生 IR 压降。SENSE+ 和 SENSE 引脚是用于每一个通道的 CMOS 电流比较器的高阻抗输入端。

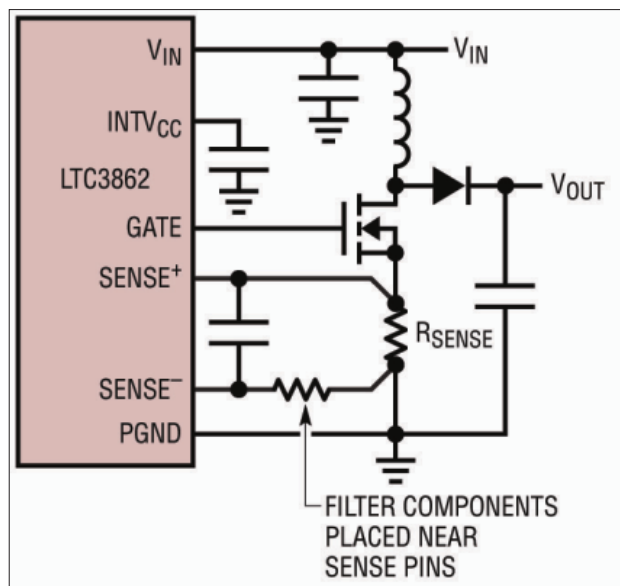


图2: LTC3862 电流检测电路

可编程消隐

LTC3862 上的 BLANK 引脚允许用户对 SENSE 引脚的前沿消隐量编程。前沿消隐的目的是在功率 MOSFET 接通前沿时滤除 SENSE 上的噪声。功率 MOSFET 接通时, 栅极驱动电流、SW 节点上任何寄生电容的放电、升压二极管充电的恢复、以及高 di/dt 通路中的寄生串联电感都是过冲和高频噪声的原因之一, 过冲和高频噪声可能引起电流比较器的错误跳变。提供一种对消隐时间编程的途径允许用户为几种应用优化 SENSE 引脚滤波, 并可以设置 180ns、260ns 或 340ns 的最短接通时间。

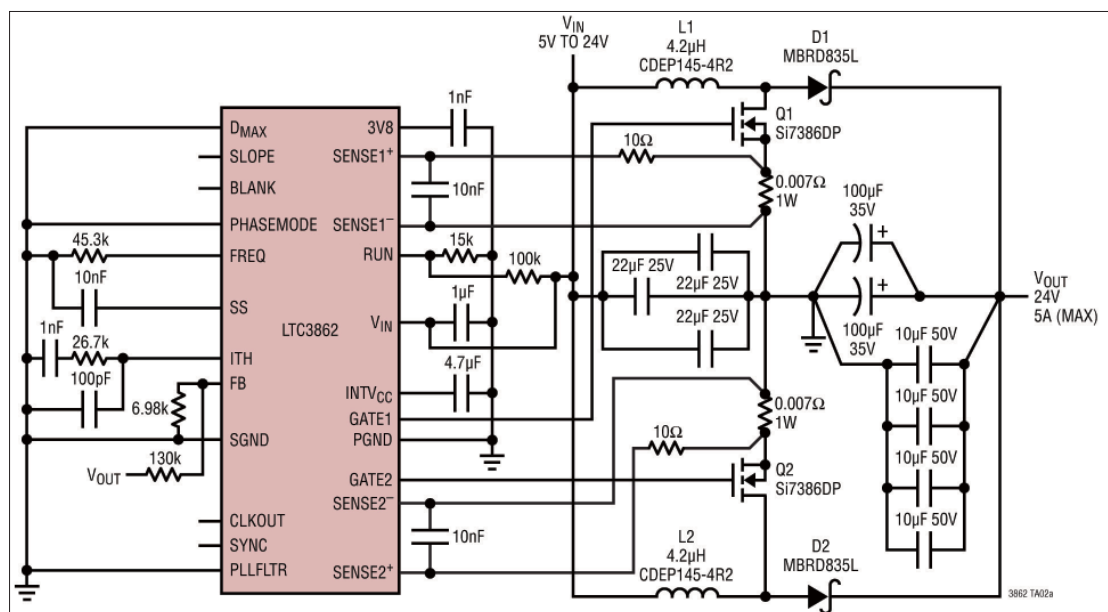


图3a: 一个采用LTC3862的12V输入、24V/5A输出两相汽车音频电源以及与其相关的效率曲线

一种音频放大器升压型转换器电源

图3 说明了一个用 5V~24V 输入工作并产生 24V/5A 输出的两相汽车音频电源。其宽输入电压范围覆盖了汽车输入电压范围，效率曲线也显示在图 3 中，效率高达 96.5%。这个电路可以非常容易地以对基本设计最少的修改情况下，扩展到适用于更高功率应用的 3 相、4 相、6 相或 12 相工作。这个多相升压型转换器通过在每一相上强加一个电流限制（由于从输入到输出的二极管和电感器连接，升压型转换器一般不是防短路的），保护了负载免受弱过载状态影响。音频应用有比平均输出功率高得多的短时峰值功率需求。因此，电流限制必须设置得足够高，以满足这些峰值功率需求。

为了保持恒定频率工作和低输出纹波电压，需要一个单端升压型转换器使功率 MOSFET 开关每周周期断开一段最短的时间。这个断开时间允许能量从电感器传递到输出电容器和负载。人们希望有高的最大占空比，尤其是在低 VIN 到高 VOUT 应用中。LTC3862 的最大占空

比为 96%，这时 DMAX 引脚连接到地。就其它拓扑而言，诸如非隔离反激式转换器，人们想要限制最大占空比，以平衡变压器的伏特-秒。LTC3862 有用户可编程的最大占空比。通过浮动 DMAX 引脚，占空比限制到 84%。连接 DMAX 引脚到 3V8 电源引脚，将占空比限制到 75%。

结论

降低的纹波电流和多相工作允许一个基于 LTC3862 的设计有更低的 EMI、更高的效率、更快的瞬态相应，可提供更多的现售组件选择，以及与单相可替代器件相比，这提升了功率密度。多相工作导致更低的组件压力、更小的输入和输出电容、更小的解决方案尺寸、更好的热量管理和更低的输出噪声。以采用多个菊花链式链接的控制器实现多达 12 个相位的可编程性，LTC3862 满足汽车燃料注入系统和大功率音频放大器从 100W~1000W 的升压型电源需求。

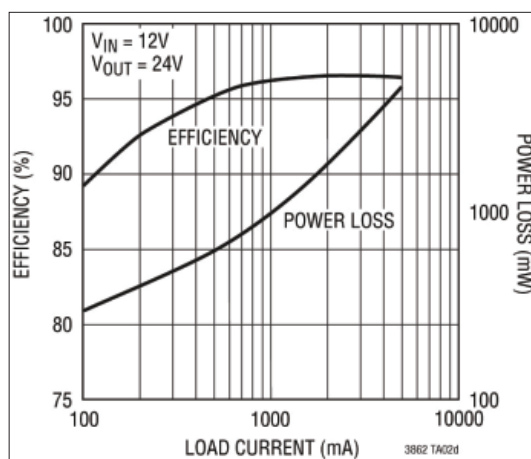


图3b: