

汽车设计需要 低 EMI 同步降压型转换器

作者：Jeff Gruetter，产品市场工程师，凌力尔特公司

引言

由于汽车中持续增加电子系统以提高安全性、舒适性、效率和性能，同时最大限度减少有害尾气排放，所以汽车需要物理尺寸更小、功率大得多的电源解决方案就不足为奇了。另外，随着汽车中 EMI 敏感系统的激增，降低开关电源的 EMI 是至关重要，所以这给开关稳压器 IC 设计带来了更多挑战。Strategy Analytics 公司研究指出：“未来 7 年，这需求将使半导体器件以每年 5% 的平均年复合增长率 (CAAGR) 增长，到 2021 年，总体市场规模将超过 410 亿美元，而 2014 年这一数字为 289 亿美元。”该公司分析发现，超过 40% 的收入将来自对微控制器和电源半导体器件的需求。

Strategy Analytics 对汽车中电子系统的增长提供了非常量化的预测，不过更有趣的是，在这种增长中，电源 IC 发挥了普遍的作用。这类新型电源 IC 设计必须具备以下特点：

- 1) 在很宽的电压范围内提供可靠的性能，包括处理超过 36V 的瞬态
- 2) 具超低电磁干扰 (EMI) 辐射
- 3) 提供最高效率以最大限度减少过热问题和优化电池运行时间
- 4) 解决方案占板面积最小，需要非常大的功率密度以及 2MHz 或更高的开关频率，以保持开关噪声落在 AM 无线频段以外，同时保持解决方案占板面积非常小
- 5) 具超低静态电流 (<10 μ A) 以实现始终保持接通系统（例如安保、环境控制和信息娱乐系统）在引擎（交流发电机）不运转的情况下保持工作状态，同时不会消耗汽车的电池电量

提高电源 IC 性能的目的是，实现日益复杂和大量的电子系统设计。在汽车的每一个方面都能看到驱动这种增长的应用。例如，新型安全行车系统，这包括车道监视、自适应安全行车控制、自动转向和前灯调光。信息娱乐系

统（车载多媒体系统）也在持续演变，在一个已经很拥挤的空间中容纳了越来越多的功能，该系统还必须支持日益增加的云应用。先进的引擎管理系统具备停 / 启系统和大量采用电子产品的变速器和引擎控制系统，还有旨在同时提高性能、行车安全和舒适度的传动系统以及底盘管理系统。10 年前，这些系统仅出现在高端豪华型汽车中，但是今天在每个制造商的汽车中都属于常见系统，这进一步加速了汽车电源 IC 的增长。以下图 1 显示了今天的汽车中通常能够见到的大量电子系统。

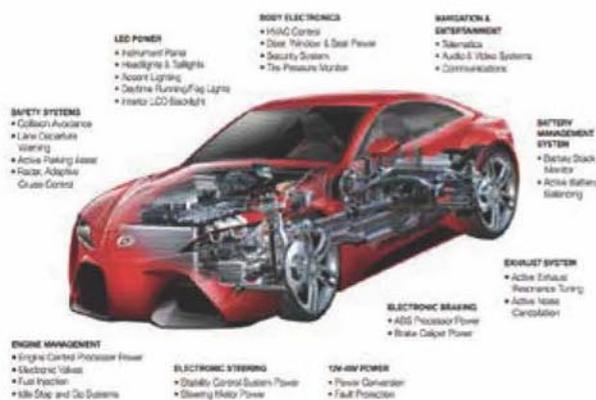


图 1：汽车中的电子系统在激增。

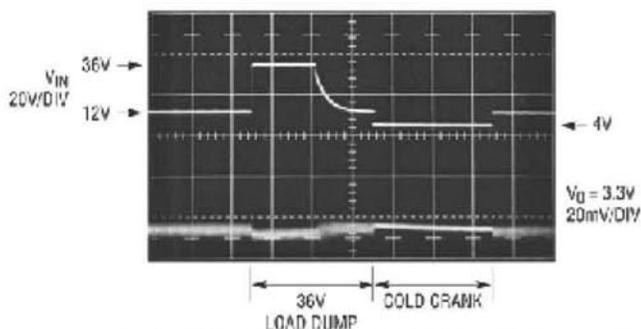


图 2：在 36V 负载突降瞬态和 4V 冷车发动情况下 LT8640 的表现。

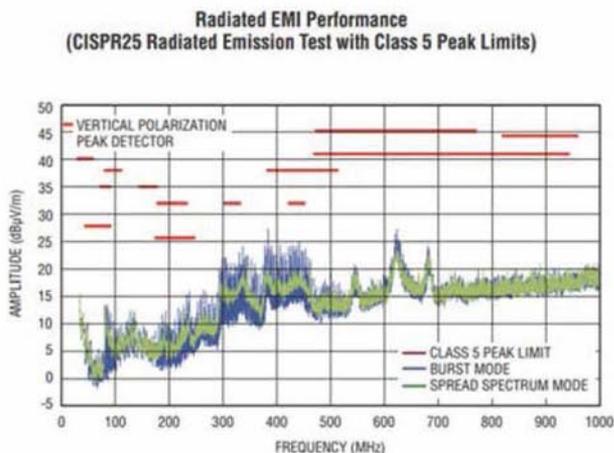


图 3: 有/没有扩展频谱时 LT8640 的 EMI 辐射性能 ($f_{sw}=2\text{MHz}$, $I_{LOAD}=4\text{A}$)、

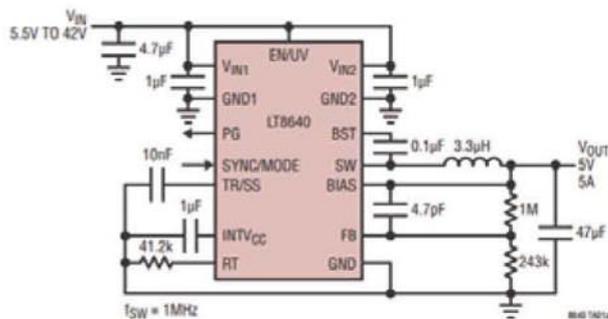


图 4: LT8640 典型汽车应用原理图, 提供 5V 输出。

汽车系统中的瞬态

尽管汽车中的电池总线电压通常为 12V (在 9V 至 16V 之间变化, 取决于何时交流发电机充电)。此外, 在各种临时条件下, 铅酸电池电压受多种变化影响。冷车发动和停-启情况可能将电池电压拉低至 3.5V, 而抛载可能使电池总线电压高达 36V。因此, 电源 IC 必须能够在多种输入电压变化情况下准确地调节输出。在冷车发动/停-启和抛载时, 单节铅酸电池的宽临时电压摆幅如图 2 所示。请注意, 合适的电源 IC (这里是 LT8640) 在出现上述情况时准确地调节了 3.3V 输出。

低 EMI 工作

因为汽车电气环境有固有噪声, 而很多应用对电磁干扰 (EMI) 是敏感的, 所以迫在眉睫的是, 开关稳压器不能加重 EMI 问题。由于一般情况下, 开关稳压器是输入电源总线上的第一个有源组件, 所以无论下游转换器性能如何, 开关稳压器都会对总体转换器 EMI 性能产生显著影响。因此最大限度降低 EMI 是非常紧迫的任务。过去采用的解决方案是, 使用一个 EMI 屏蔽盒, 但是这极大地增大了解决

方案的成本和尺寸, 同时使热量管理、测试和制造更加复杂。电源管理 IC 内部可以采取的另一种解决方案是降低内部 MOSFET 开关边沿的速率。不过, 这产生了不良的影响, 降低了效率并延长了最短接通时间, 影响了 IC 在 2MHz 或更高开关频率时提供低占空比的能力。由于人们希望拥有高效率和小尺寸解决方案, 所以这不是一个可行的解决方案。幸运的是, 市场上已经推出了一些独特的电源 IC 设计, 以同时实现快速开关频率、非常高的效率和很短的最短接通时间。这些设计一般具备低 20dB 以上的 EMI 辐射, 同时提供 2MHz 开关频率和 95% 的效率。有些还提供扩展频谱功能, 这可以将 EMI 辐射再降低 10dB。这样的性能无需额外增加组件或屏蔽就可以实现, 从而在开关稳压器设计领域实现了重要突破。

高效率工作

汽车应用中电源管理 IC 高效率工作很重要, 原因有二。首先, 电源转换效率越高, 以热量形式浪费的能量就越少。因为热量是任何电子系统长期可靠性的敌人, 所以必须有效管理热量, 这一般需要用散热器实现冷却, 从而增大了整体解决方案的复杂性、尺寸和成本。其次, 在混合动力或电动汽车中, 浪费的任何电能都将直接减少其行驶里程。直到最近, 高压单片电源管理 IC 和高效率同步整流设计还是相互排斥的, 因为所需要的 IC 工艺不能同时支持这两种要求。过去, 最高效率的解决方案是高压控制器, 这类控制器采用外部 MOSFET 实现同步整流。然而, 与单片解决方案相比, 对低于 25W 的应用而言, 这样的配置相对复杂和笨重。幸运的是, 现在市场上已经出现了可通过内部同步整流同时提供高压和高效率的新型电源管理 IC。

更小的电源转换电路

有几种方式可减小电源转换电路。一般而言, 电路中最大的组件不是电源 IC, 而是外部电感器和电容器。通过将 IC 的开关频率从 400kHz 提高到 2MHz, 这些外部组件的尺寸可以大大减小 (解决方案占板面积可以减小 4 倍)。但是为了有效做到这一点, 电源 IC 必须在较高频率时提供高效率, 这在以前一直是不可行的。不过, 通过采用新的工艺和设计方法, 已经开发出提供 95% 以上效率同时以 2MHz 切换的同步电源 IC。高效率工作最大限度降低了功耗, 消除了对散热器的需求。高效率工作还增加了可保持开关噪声处于 AM 频段以外的好处。

“始终保持接通”系统需要超低电源电流

很多电子子系统都需要在“待机”或“保活”模式工作,

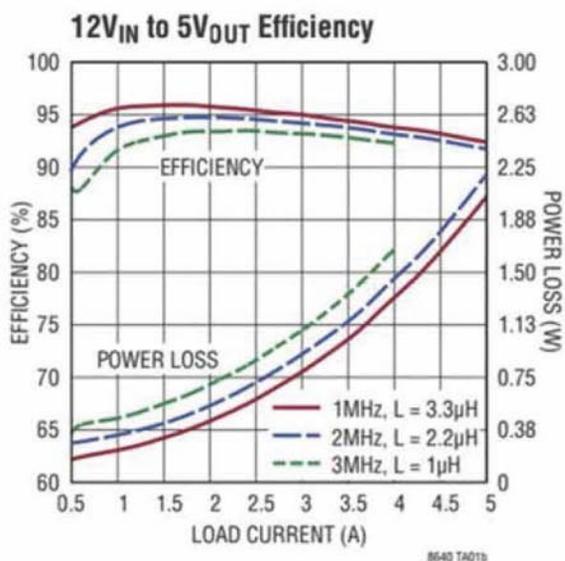


图5: 图4电路中的LT8640在1MHz、2MHz和3MHz时的效率曲线。

处于这种状态时以稳定电压吸取最低限度的静态电流。在大多数导航、行车安全、安保以及引擎管理电子电源系统中都能看到这类电路。此外，这类子系统每个都可能含有几个微处理器和微控制器。大多数豪华型汽车都内置超过150个这类DSP，其中大约20%需要始终保持接通工作。在这类系统中，电源转换IC必须以两种不同的模式工作。首先，当汽车处于运行时，为这些DSP供电的电源转换电路一般会以电池和充电系统馈送的满电流工作。不过，当汽车点火系统关闭时，这些系统中的微处理器必须“始终保持接通”，从而要求其电源IC提供恒定电压，同时从电池吸取最低限度的电流。既然可能有超过30个这类始终保持接通的处理器同时工作，那么，即使当点火系统关闭时，对电池也有相当大的功率需求。总体而言，可能需要数百毫安电源电流为这些始终保持接通的处理器供电，这有可能在几天时间内彻底耗尽一个电池的电量。

因此，这些电源IC的静态电流需要大幅降低以延长电池寿命，且不增加电子系统的尺寸或复杂性。直到最近，对于DC/DC转换器而言，高输入电压和低静态电流要求还是相互排斥的参数。大约10年前，几家汽车制造商为始终接通的DC/DC转换器确定了一个<100µA的低静态电流目标，但是今天，低于10µA已成为首选。幸运的是，现在已有新一代电源IC可用，这些IC在备用模式提供低于2.5µA静态电流。

新型解决方案

直到现在，仍然没办法确保通过选择电源IC使EMI

得到抑制，并满足效率要求。不过LT8640 Silent Switcher® 稳压器使得这么做成为可能。LT8640是Silent Switcher高压同步降压型稳压器系列的第二款器件。该器件是一款5A（连续电流，峰值电流7A）、42V输入同步降压型开关稳压器。正如在图3中可以看到的那样，在没有启动扩展频谱功能时，EMI辐射比汽车CISPER 25 Class 5峰值限制值低10dB至30dB。在最关键的汽车频段，扩展频谱将这些辐射值再降低5dB至10dB。与现有最新开关稳压器相比，EMI辐射合起来可降低超过25dB。下图中LT8640以2MHz频率切换，负载电流为4A，无需外部EMI屏蔽。

图4所示为LT8640的原理图。同步整流无需任何外部二极管，从而提高了效率，同时减小了解决方案占板面积。这个原理图电路采用3.3µH电感器，以1MHz开关频率切换，提供96%的效率。不过，正如在图5中所能看到的那样，以2MHz频率运行LT8640避开了与AM无线频段有关的任何干扰问题，且可以使用更小的2.2µH电感器，同时仍然提供95%的效率。LT8640运用独特设计，最大限度降低了开关损耗，使该器件能够以2MHz或更高的开关频率提供这么高的效率。

LT8640的3.4V至42V输入电压范围使该器件非常适合汽车及工业应用。内部高效率开关在电压低至0.97V时提供高达5A的连续输出电流和7A峰值负载。其突发模式(Burst Mode®)工作仅消耗2.5µA静态电流，从而非常适合汽车始终保持接通系统等应用，因为这类系统需要延长电池工作寿命。LT8640的独特设计在所有条件下保持了仅为100mV（在1A）的最小压差电压，从而使该器件在汽车冷车发动等情况下表现出色。此外，短至仅为40ns的最短接通时间在16V输入至1.5V输出时实现了2MHz恒定频率切换，从而使设计师能够优化效率，同时避开关键噪声敏感频段。LT8640的20引线3mm x 4mm QFN封装和高开关频率允许使用很小的外部电感器和电容器，可构成占板面积紧凑的高热效率解决方案。

结论

汽车中极端复杂的电子系统之迅速增加给电源管理IC提出了更高的要求。过去，大负载电流、高开关频率和高效率设计合起来带来了巨大的EMI挑战。不过，LT8640的独特设计提供了高效率、快速切换，实现了占板面积非常紧凑的解决方案，而且EMI辐射超低，从而在电源IC领域树立了全新标准。幸运的是，新一代同步电源IC现在已经可用，这为未来汽车中增加更多电子系统铺平了道路。

www.linear.com.cn