

如何提升汽车系统中的功率密度

邓隐北¹, 王志英¹, 魏成勇², 魏仁豪²

¹ 河南蓝宇洁源实业有限公司

² 郑州艾科智慧信息科技有限公司

1 前言

车辆的重量过大, 导致每单位体积化石燃料(如汽油)的车程缩短, 或在电动汽车行驶中更频繁的充电。因此, 电源和蓄电池的功率密度就成为优化汽车性能的关键因数。

对于任何新的混合动力车(HEV)或电动汽车(EV)的成功离不开新颖的设计构建(architecture), 尤其在汽车的电力电子(PE)系统中更为重要。不仅要求传统14V的动力网络, 而且还需具有电压600V或更高电压的车辆动力网络。

高压车辆动力网络的构建, 包括电气储能系统和牵引驱动用逆变器, 有些HEV和EV系统的构建还可包含利用DC/DC变换器的高压PE系统, 以便为低压网络提供电功率, 例如空调的压缩机, 冷却水泵、油泵, 牵引总线的稳压, 以及用于对车辆网络多向或双向接口(interface)的AC/DC变换器。

让我们考查一下车辆中的各种动力系统及其元器件, 怎样才能有利于构建总体较高的功率密度。

2 V2X 功率

V2X是车辆系统功率轨道(power-rail)的构建技术, 是指车辆对外界一切(Vehicle to Everything)的信息交换, 是智能汽车和智能交通的支撑技术之一, 也是未来智能交通运输系统的关键技术。V2X的中文名为车辆无线通讯技术, 这是自动驾驶功能的最佳搭档。

V2X中的“X”相当于网络(grid)、自动导航(home)或负载(load), 具有5V的总线功率, 利用了脱离蓄电池单独工作的(Off-battery)降压变换器, 并借助车辆蓄电池电压而建立的。这一型式的设计构建技术可以驱动所有的负载点(PoL)器件, 切换的速率为2MHz, 效率达到90%以上。在这么高的切换速率下, 与高的效率结合在一起, 将

大幅度提升汽车的功率密度。

3 汽车系统中的 GaN (氮化镓) 场效应晶体管 (FETS)

由于汽车的功率设计中, 利用了GaNFETS的快速切换性能, 与该设计中600V甚至更高电压的能力相结合, 则能实现很高的功率密度。当整合后的集成式驱动器成为解决途径时, 设计者们将输送出2倍的功率密度和99%的效率, 外加磁钢尺寸减小的效益。应用硅基底上(on-silicon substrate)的GaN, 与SiC器件比较, 不仅具有电源链的优点, 还能降低成本。

重量轻和结构紧凑的动力系统很重要, 尤其在电动汽车系统中, 工程师们现在可扩展蓄电池的使用范围, 并达到系统的更高可靠性。GaN加强和改善了性能, 借助以GaN取代Si或SiC解决方案, 板上的充电器和DC/DC变换器, 其尺寸可缩小50%。再者, 高频的切换速率及很高的效率, 使车辆中达到了优异的功率密度。

4 汽车级电流传感(检测)用的电阻器及分流器

通过适当的设计电流检测中的电阻器和分流器的用途, 也可改善汽车的功率密度。这些电阻器具有很小的阻值, 优越的脉冲性能, 电阻的低温系数(TCR), 以及电感(感应系数)小和噪音低等特点。

一个好的电流传感电阻器, 能提供异常的脉冲特性, 在达到器件的温度极限之前可吸收更多的电能。该电阻器元件还应相当的坚固耐用, 以便经受较高的温度。采取的激光修整(Laser trimming), 将有助于减小谐波畸变以及电路的阻尼振荡(Ringing)。

当原材料承受温度的变化时, 随着其膨胀和收缩, 物

件的尺度会产生细微的增减,在工作比 (duty cycle) 或脉冲应用期间,电源的关断和接通,会导致机械重复的发热或冷却,引起热胀 / 冷缩的循环。

这一冷热的循环,对于表面安装部件的焊接点,当几何尺寸的热胀 / 冷缩出现大的速率偏差时,可能引发长期可靠性的问题。

这些不同速率的出现,通常称之为热发射系数 (CTE) 的失配。按照 CTE 值来选择电阻器,使其接近电路板 FR-4 材料的 CTE,则可将这一效应减到最小程度,具备较优的长期焊接点性能和较低的故障率。

利用汽车的电流传感电阻器,可在汽车的构建中提升功率密度。因随着电阻器尺寸的减小,功率定额增加。此外,设计者将有多个系列选择电阻器,因而可在相同尺寸下改变系列。设计者予以改进后可达到更高的功率定额。在这一电阻器上将展现一个值得肯定的全金属 (All-metal) 结构特点。

当然,设计者们应选择的电阻器系列,是符合汽车应用中的 AEC-Q200 标准的。

5 用于 LED 照明的汽车级高功率密度电感器

先进的 LED 驱动器设计,是利用电子元件研发的、能具较高亮度和改善能量效率的、全部实现低成本的设计。现在的供货商提供的更大功率 LED 头灯系列 (headlight clusters),能在较小的 PCB (印刷电路板) 面积上顺利增大电流。

今天,技术先进、用于 LED 照明的电感器,能操控自如,适应更高的温度 (+155℃) 和较大的功率密度。而且,最新的电感器应用,能将 PCB 所占面积减小 50%。在过去,普及流行的电感器,其 PCB 上所占面积相当大,达到 12.5×12.5mm,目前制造厂家已将这一尺寸减小到 8×8.5mm,其尺寸减小后还保持着若干年以前的性能,价格也达到与车辆制造厂有竞争力的水平。

汽车上的应用变得愈益的尖端和精密,因为其发展势头强劲,每辆汽车已超过 2 个或 3 个 LED 驱动器。更小的电感制造,以类似于薄膜 (thin-film) 金属的最新工艺技术,导致了汽车中功率密度的提高。

T 型偏置电路 (Bias-T),以及同轴电缆上的功率电路 (power-over-coaxial, POC),也利用了电感,该电感器具有高的阻抗特性,并导致了功率密度的改善 (图 1 和图 2)。

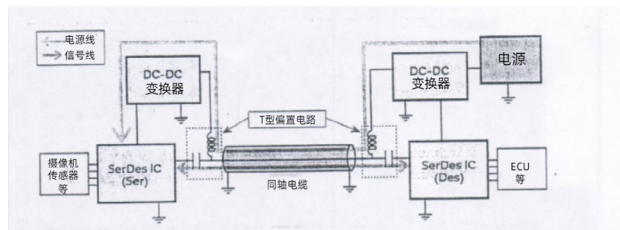


图 1: 使功率 - 电源线与信号线隔离的 T- 偏置电路

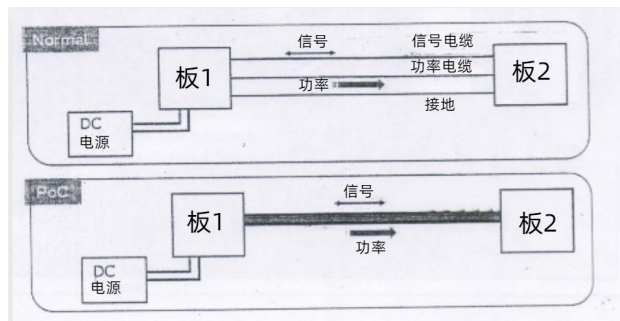


图 2: 为提高功率密度,利用在信号同轴电缆上的薄膜金属电感器的同轴电缆功率 (POC) 电路系统

6 世界最小的高频绕线芯片式 (wirewound chip) 电感器

电感器可用于 DC/DC 变换器和功率执行器,电池充电或 ECU 的输入 / 输出滤波器。甚至电动自行车、无人机、花园机器人这些在我们生活中已成为流行消费品的“新型事物”,也都离不开电感器的应用。据“大比特资讯”报道:松下工业电感器以其具备的高功率、高效应而引人注目。从而可延长设备的电池寿命,其金属复合 SMD 型线圈节省了空间,故适合小型化设计趋势。松下工业提供的电感器尺寸从 4×4mm 到 12×12mm 不等,产品组合中的最小高度为 2mm,可将电感器安装在较小的装置空间内。

但据“电子设计” (electronic design)2022.5/6 月刊的报导,全世界迄今为止最小的电感器已经问世,精湛的线圈工艺再次产生了又一款高品质因数 (高 Q 值) 的绕线芯片式电感器,其主要的实际尺寸极小。

新颖的 016008C 系列陶瓷芯片电感器,以其超低的高度 0.35mm,测量的面积正好为 0.47×0.28mm,也即外形尺寸仅为 0.35×0.47×0.28mm,在 2.4GHz 的高频率下,可提供比所有薄膜式电感器高 40% 的 Q 值。

高 Q 值有利于射频 (RF) 天线阻抗的匹配电路中插入损耗 (insertion loss) 最小。对于高频应用中例加移动电话 (手机)、耐磨损器件, 以及 LTE (前期演变技术) 或 5G 物联网 (IoT), 016008C 电感器最理想。LTE 是应用于手机及数据卡终端的高速无线通讯技术, 功用是依据内存的数据和顺序, 对传感器输出的信息停止、处置、判别和运算, 然后将指令输入。

016008C 系列从 0.45nH (纳亨) 到 24nH 电感范围中, 经过仔细选择的 36 个电感值均有效可用, 且比所有作用相当的薄膜电感器, 都具有较小的动态对比度 (DCR)。

如果将这种极小型、高 Q 值的电感器, 应用到现代汽车构建的电子设计系统中, 无疑, 对节省有效安装空间、提升功率密度都是非常有利的。

7 电动汽车的高功率密度设计

GaN 有效箝位 (active-clamp) 的移相全桥 (phase-shifted full-bridge, PSFB) 电路 (见图 3), 在横跨整个负载范围和电压范围时, 均具有零电压切换 (Zero-voltage Switching) 功能。这可使汽车应用中的 1.5KW、400/12V、DC/DC 变换器获得广泛的电压和功率范围。漏电感小和可实现软切换的能力结合在一起, 甚至在低负载的情况下, 也可导致切换频率高达 500KHz。

在电动汽车或混合动力车中, 该 DC/DC 变换器的构建技术, 可将 400V 的车辆电力牵引用蓄电池的能量转换到 12V 的电气系统中, 而且还能确保原电池组 (galvanic) 的绝缘安全。

变换器的功率密度, 已简化并集成到汽车系统内部。磁性元器件决定着 PE 技术的大量数据实验 (volume)。借助于切换频率的增高可提升功率密度, 通过对 SiC 或 GaN 三极晶体管的利用, 达到了很优的导电性和很小的切换能耗, 对比采用硅器件, 效果要好得多, 这从图 3 的电路拓扑可看到。

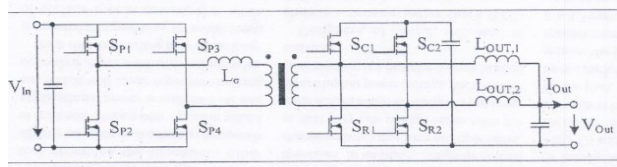


图 3: GaN 有效箝位移相全桥的电路拓扑

软切换功能, 与 GaN 晶体管及其有效箝位的组合, 提升切换频率高达 500KHz。这一设计构建技术大幅度提高了功率密度, 并保持着高的效率。原型样机已达到 95% 以上的高效率, 功率密度也已高达 12.5KW/L。

8 汽车高功率密度的热管理

很多新的电子器件, 都以其独特的方式进入现代汽车系统中, 导致车辆内部的发热量增加。尽管如此, 由于这一新的努力与尝试, 提升了能量效率, 故仍趋向于以智能的电子器件, 取代液压部件和机械部件。设计者们现在必须管理好这些附加的热负载。热源的量在连续攀升, 因此, 务必将车辆所限制的大部分热量散发出去。

冷却技术可有效改善功率密度。在车辆内部的一些关键部位, 采用了不同的冷却方法:

- (1) 用于半导体包装中的热分散, 今天的技术是利用铜、铜 / 钨以及铜 / 钼散热器;
- (2) 用于从器件包装的热转移 / 热分散到车辆底盘, 现代技术是利用铜和铝做的散热器;
- (3) 用于将车辆底盘的热转移到系统的热交换器 (heat exchanger), 此法利用了强制的空气流动及泵输送液体回路;
- (4) 用于通过系统的热交换器消散热量, 现代技术包括气冷的散热片和散热器。

在汽车中的上述冷却方法, 作为典型, 使用了散热器、温度控制和热量转移, 这些改进的热管理方法, 均已通过了实验室的研发阶段, 并正朝向高要求飞行任务的军用和太空系统中部署。

参考文献

[1] STEVE TARANOVICH, How to Boost Power Density in Automotive Systems, 《electronic design》2022, 3/4 月, P8-11.
 [2] WWW. coil-craft.Com, Introducing the world's smallest/ high-frequency Wirewound chip inductor! 《electronic design》2022, 5/6 月, P23
 [3] 松下电器工业公司, 松下汽车电感器如何助力产品创新, 《电子变压器技术》2022, 8 月 P187.