

# 多种应用技术是提高新能源汽车车载 可靠性与效能的有效举措

**A variety of application technologies are effective measures to improve the on-board reliability and efficiency of new energy vehicles**

叶云燕

**摘要:** 本文对新能源汽车车载应用中使用的电源集成电路与基于系统级芯片(SoC)的新型电源核心轨技术及其碳化硅功率模块新趋势等多种设计方案成为解决痛点的有效举措作研讨。与此同时对车载应用中的电源类OBC产品特性作解析。

**关键词:** 新能源, 汽车车载, 系统级芯片, 电源轨, 功率模块

**Abstract:** This paper discusses the effective measures to solve the pain points, such as the power integrated circuit used in the on-board application of new energy vehicles, the new power core rail technology based on system-on-chip (SoC) and the new trend of silicon carbide power module. At the same time, the characteristics of power OBC products in vehicle applications are analyzed.

**Keywords:** New energy, car vehicle, system-level chip, power rail, power module

## 前言

近年来, 各种车载应用已在汽车上安装使用, 但这给工程师设计电源电路带来了许多挑战。工程师需要在短时间内解决各种设计问题, 如降低噪声、减少电路面积、降低功耗以及使器件符合 ASIL(是用于评估和管理汽车系统安全性标准)等。尤其是随着新能源汽车(xEV)在乘用车渗透率的逐步提升时, 如何实现其高功率密度、高可靠性、高效率、高性价比等核心指标的优化与平衡, 一直是提高新能源汽车车载可靠性与效能的方向。

针对这些车载应用电源电路中典型问题的挑战或痛点, 如何应对? 应该说有多种设计可认选择。值此仅应用使用的电源集成电路与基于系统级芯片(SoC)的新型电源核心轨电源技术及其碳化硅功率模块最大限度提高有源前端效率新趋势等多种设计方案作为解决痛点的有效举措作分析研讨。与此同时对车载应用中的电源类 OBC 产品特性作解析。值此从叙述思路的顺畅出发, 先对汽车应用电源设计问题作分析。

## 1 汽车应用电源设计问题

\* 如何抑制噪声 随着电气化、自动驾驶和 ADAS(高

级驾驶辅助系统)等技术的迅速普及, 从仪表到驾驶控制的车载应用不断增加, 且它们与人类生活直接相关, 因此车载应用需要具备高安全性和可靠性。在这种情况下, 如何抑制噪声就成为电源设计中的一个主要问题。汽车应用具有非常严格的标准, 例如它可避免因噪声引起的故障。各厂商的电源 IC 结合了多种技术来降低 EMI 噪声, 如下图所示, 它是内部布线采用了倒装芯片结构代替传统的焊线连接。由于不再需要受高噪声影响的导线, 电源 IC 即使在高开关频率下也可以降低噪声。

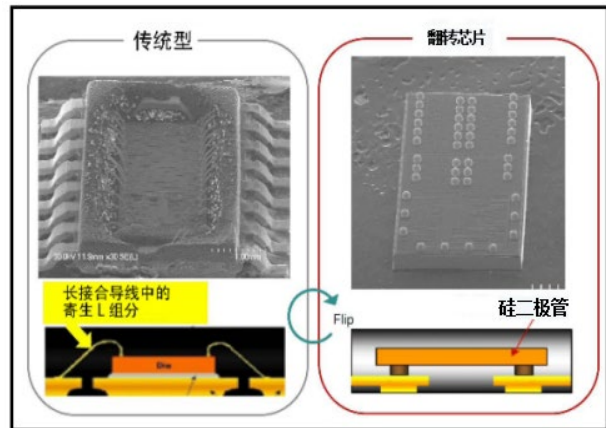


图 1 内部布线采用倒装芯片结构

值此以汽车级 36V、5A 同步降压转换器(如 MAX2040x 型系列)为例的封装结构图作说明。从图 2 所示可知在封装内部,输入(SUP)和接地(PGND)具有对称结构,可有效抑制 EMI 噪声。此外它还通过使用扩频技术来降低 EMI,它的最小导通时间很短,可在 2MHz 的开关频率下运行,通过使用电源 IC,可以有效解决噪声问题。具体功效为低引流源间导通电阻,降低 EMI 噪声和更高的功率密度。

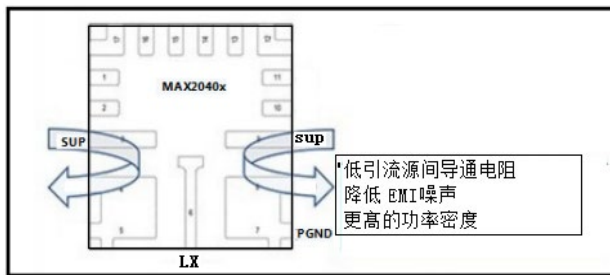


图2 汽车级 36V、5A 同步降压转换器(如 MAX2040x 型)系列封装结构图

\* 小型化问题

汽车应用电源设计另一个主要挑战是电源电路的小型化问题。近年来,受汽车应用小型化趋势的影响,电源电路的安装空间变得越来越小。电源电路由电源 IC、电感、电阻、电容等多个元件组成,在进行小型化设计时,必须综合考虑包括外围元件的电路面积、元件数量、功率密度、发热量、成本等因素。新电源 IC 解决方案与典型电源 IC 相比,空间面积减少了大约 60%。促成这一目标实现的技术之一是采用了 90nm 工艺芯片尺寸来提高功率密度,倒装芯片结构也有助于封装的小型化。

另外,电源 IC 内置场效应晶体管(FET)具有出色的响应能力和低导通电阻,这可以减少输出电容器和温度控制装置等外围元件,还提供固定输出和固定频率选项,从而减少外部元件数量。下图 3 所示新型电源 IC 是可显著缩小电源电路的整体尺寸示意图。

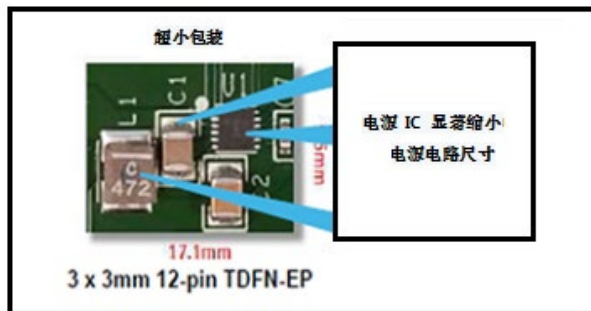


图3 为新型电源 IC 显著缩小电源电路尺寸示意图

为此例举高扩展性汽车级完全集成式同步降压转换器应用,它是尺寸超小的高效大功率降压转换器。

它属于用于汽车电源电路设计的 IC 解决方案的 90nm 工艺器件(如 P90 系列:MAX20404/5/6 型系列),因其高扩展性而极具吸引力。它都有助于解决降低噪声和小型化等关键问题。其主要特性。具有丰富的产品阵容,相同的基底面可支持 4、5、6 等系列的广泛电流范围,这些器件常用于汽车初级电源(12V 系统)。近年来,由于企业需要将产品快速推向市场,使得工程师的设计时间变得极为紧张。通过采用高度可扩展的系列产品,可为多种应用部署具有通用尺寸的电源电路,也可以转移设计资产能力,从而缩短开发时间、降低成本,并提高设计灵活性。

在应用具有 3.5μA 超低智商(Iq)微型降压转换器芯片(如 MAX25231/232/223)是一款小型同步器件,集成了高侧和低侧开关,可在 3.5V 至 3.6V 的输入电压范围内提供 1.2A,空载时静态电流仅为 3.5μA。该类 3.5μA 超低 Iq 芯片可显著降低功耗,它们被广泛应用于低功耗需求的汽车应用中。但由于车载应用内部配备了各种控制板,每个功能都有功耗限制,这往往成为 OEM 产品的一大挑战,因此静态电流(Iq)值是关键的考虑因素之一。而超低 Iq 系列器件,可提供 3.5μA 的极低 Iq 值,则关注 OEM 产品功耗限制是工程师成为首先的考虑。使其厂商符合 ASIL 标准的电源 IC 产品阵容更加强大,它们是汽

车信息娱乐系统、集群系统、高级驾驶辅助系统 (ADAS) 电子控制单元 (ECU)、逆变器和摄像头模块的理想选择。则其该类电源阵容不仅实现了电源 IC 中的一般保护功能, 还有各种监控功能和自诊断所需的功能, 这是一款可满足 ASIL 严格安全要求标准的电源 IC。

\* 高扩展性汽车级完全集成式同步降压转换器应用, 包括 ADAS (高级驾驶辅助系统) 和车载摄像头模块及电动汽车。

## 2 汽车系统级芯片 (SoC) 核心轨供电的挑战与机遇

### 2.1 基于 SoC 核心轨技术的新型电源轨的电源设计方案

\* 应对挑战的设计思想

汽车行业正经历重大的变革, 电动汽车 (EV)、自动驾驶、高端信息娱乐系统、连接性, 还有软件定义汽车。无论是电动汽车的目的、益处, 还是它对汽车供应链的影响, 人们都已经有了深刻的认识。然而, 向自动驾驶和高性能计算 (HPC) 的数字化转型仍处于早期阶段, 它还在不断的发展中。数字化转型同时适用于电动汽车和内燃机 (ICE) 汽车。这些新兴趋势带来的技术颠覆将为汽车供应链带来挑战, 同时也带来机遇。人口的持续增长和城市化, 让现代交通面临拥堵、事故多和交通不畅等问题, 并进而产生负面的社会经济影响 (见图 4 驾驶带来的问题的画面)。由此开发个人用自动驾驶、联网车辆和用于公共交通的自动驾驶出租车将有助于提高便利性、安全性和经济流动性。



图 4 驾驶带来的问题的画面

对车辆数字化的需求日益增长, 这需要先进的技术、新的架构, 还要全面开发创新的组件和解决方案。自动驾驶汽车所需的巨大的高性能算力不仅要用于车辆本身, 还要支持基础设施。

为了实现数字化移动, 汽车设备制造商 (OEM) 开始联手片上系统或称系统级芯片 (SoC) 供应商, 共同致力于

提供推动汽车行业发展所需的算力。这种范式的转变为制造商带来机会去创造新功能和特性以满足现代消费者的需求, 也有机会让其产品在众多竞争者中脱颖而出。过去的汽车, 几十个电子控制单元 (ECU) 遍布车身用于处理本地数据。如今的汽车则由域控制器聚合并处理来自车身各个部分的数据。未来的车辆更将配备中央计算机, 提供更高算力来支持高级驾驶辅助功能、高端信息娱乐系统、连接性以及其它先进的功能。具体有何显著的应用特征呢?

未来汽车的中央计算机将依靠功能强大的 SoC。这些 SoC 将具有先进的 CPU 和 GPU 功能, 能够处理海量的数据并执行复杂的计算, 让车辆能够实时做出决策。这样的 SoC 需要先进的电源管理解决方案, 尤其是核心电压轨的电源解决方案。SoC 核心轨需要几百安培的电流, 且有严格的瞬态性能和效率要求。尽管服务器、数据中心和人工智能应用早已使用了多代强大的系统级芯片 (SoC) 和先进电源管理解决方案, 但这些方案对汽车应用来说仍是新事物。

\* 设计方案的实施框图 汽车系统级芯片可见图 5 所示为简化的汽车系统级芯片 (SoC) 电源树, 它包括高功率核心电源轨和低功率系统电源轨两部分。低功率轨可使用电源管理 IC (PMIC) 或离散负载点 (PoL) 变换器。高功率核心轨则需要专门的电源解决方案, 因为它们有严格的规范为嵌入到 SoC 中的 CPU 和 GPU 提供所需的功率。此外, 根据架构和性能规格, SoC 还可能需多个核心轨。值此重点对 SoC 核心电源轨的传统电源解决方案与先进系统级芯片核心电源方案作比较解析。

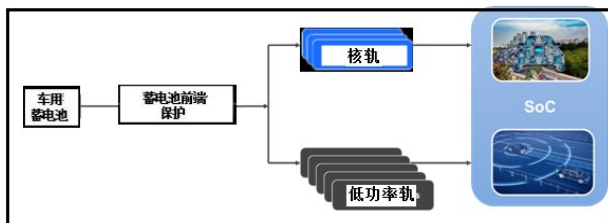


图 5 所示为简化的汽车系统级芯片 (SoC) 电源树

### 2.2 SoC 核心电源轨的传统电源解决方案与先进系统级芯片核心电源方案作比较解析

\* 系统级芯片核心轨的传统解决方案的缺陷

系统级芯片核心轨的传统解决方案使用了模拟脉宽调制 (PWM) 控制器、分立式 MOSFET 以及分立式的电流和温度采样电路。这种解决方案需要很多外部元件, 这

会增加成本、降低汽车应用的可靠性，并且需要较大的 PCB 空间。因此，传统解决方案不仅设计困难，而且欠缺灵活性和可扩展性。而这两个特性正是高级驾驶辅助系统 (ADAS)、信息娱乐系统和高性能计算 (HPC) 应用中系统级芯片的关键需求。

**\* 先进系统级芯片核心电源方案**

图 6 显示了一个采用了数字多相控制器和单片 DrMOS 功率级的先进 SoC 核心电源解决方案。其中的 DrMOS 集成了栅极驱动器 IC、电流采样电路和温度采样电路。该方案消除了传统解决方案所需的多个外部组件，可以实现更简单的解决方案。

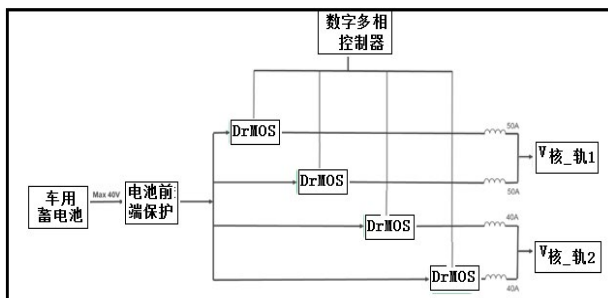


图 6 为数字 PWM 控制器和单片 DrMOS 方案

采用单片设计的 DrMOS 可以提供无可比拟的高功率密度、精确的电流采样和片上温度采样。如今不少厂商（如 MPS 公司）拥有 22V 和 6V DrMOS 产品系列，可支持单级功率转换和两级功率转换。这些数字控制器具备灵活性和可扩展性，可以根据给定 SoC 核心轨的电流额定值来配置相数。数字控制器不需要任何外部反馈环路补偿，这简化了设计工作并缩短了开发时间。这些器件还具有非易失性存储器 (NVM)，可配置和重新配置寄存器设置多达 1,000 次。而且，控制器和 DrMOS 产品还提供各种监控和保护功能，可用于实现系统级遥测。汽车 SoC 和电池现代汽车多采用两种 12V 电池：铅酸电池或锂离子电池。锂离子电池的最大输出电压 (VOUT) 高达 20V；铅酸电池的瞬态 VOUT 也可以达到 40V。

典型的是采用 22V 额定电压 DrMOS 产品实现的单级功率转换方案（见图 7 所示使用 22V DrMOS 和可选预稳压器实现的单级功率转换组成方框图）。

它配备 12V 锂离子电池的汽车可以直接使用 22V DrMOS，无需预调节器将电池电压转换为 SoC 核心轨电

压。这是实现最佳效率、更小 PCB 面积、更低成本和更优电气性能的理想解决方案。对于使用铅酸电池的车辆，在负载突降或双电池条件下的最大电压可达 40V。在这种情况下，需要使用预调节器将 DrMOS 上的输入电压 (VIN) 限制为最大 20V，以在瞬态条件下保护 DrMOS。

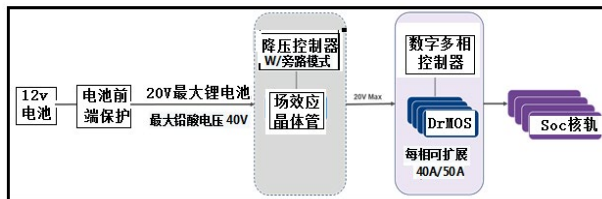


图 7 使用 22V DrMOS 和可选预稳压器实现的单级功率转换组成方框图

如果车辆配备了铅酸电池，则可以使用预调节器作为限压器。预调节器能够以 100% 占空比运行，这也意味着在正常运行条件下，它提供直通功能，可实现高于 99% 的效率。在电压瞬变期间，预调节器则充当降压变换器；在电池电压 (VBATT) 超过预设的 20V 限制时，它能在几毫秒以内将 DrMOS 的 Vin 限制在 20V。

单级功率转换方案的拓展是采用一个具有两级功率转换的 12V 铅酸电池供电汽车应用方案。第一级将 VBATT 转换为 5V 或 3.3V 中间总线电压；第二级采用额定电压 6V 的 DrMOS 器件将中间总线电压转换为 SoC 核心电压。两级功率转换需要额外的半导体元件，但与单级解决方案相比，中低功率级 SoC 核心轨的整体 SoC 电源解决方案仍然更小、更便宜。

### 3 用于汽车应用的车载充电机 (OBC) 特性

随着新能源汽车在乘用车渗透率的逐步提升，其车载充电机 (OBC) 作为电网与车载电池之间的单向充电或双向补能的车载电源设备，也得到了非常广泛的应用。相比车载主驱电控逆变器，电源类 OBC 产品复杂度高，如何实现其高功率密度、高可靠性、高效率、高性价比等核心指标的优化与平衡，如 OBC 需不断技术迭代与产品革新的方向就是一典例。

这是为什么呐？值此对功率器件的 PC 寿命可靠性、OBC 中 PFC 主流拓扑和仿真图腾柱 PFC 的损耗和结温 (Tvj) 波动等相关特性作简述。

**\* 功率器件可靠性基础**

功率器件的结温 ( $T_{vj}$ ) 波动与功率循环 (PC) 寿命, 一直是工业界讨论的重点。在轨道牵引、风力发电、电梯变频、和电动汽车主驱等应用中, 相关的标准与测试方法也趋于成熟。功率器件自身的功率循环 (PC) 能力, 和实际加载的温度变化大小, 共同决定了器件在应用中功率循环 (PC) 寿命的多少。不同的芯片和封装材料及其工艺, 对功率器件的功率循环 (PC) 能力有着非常显著的影响。

**\*OBC 应用与 PFC 拓扑**

车载 OBC 产品复杂度高, 在 OBC 产品设计应用中, 要实现其高功率密度、高可靠性、高效率、高性价比等核心指标的优化与平衡。为了满足电网 AC 侧输入功率因素和谐波的要求, 和 DC/DC 的宽电压 / 负载范围, 通常 OBC 采用一级独立的功率因素校正 (PFC) 电路, 典型的车载 OBC 系统架构如图 8 (a) 所示。功率因素校正 (PFC) 级通过校正输入 AC 电流, 保持和输入电压同相位的交流正弦波, 在实现高功率因素的同时, 功率器件流过同频率的脉动电流, 功率损耗呈现脉动形式, 带来比较大的结温  $T_{vj}$  波动 ( $\Delta T_{vj}$ )。



图 8 (a) OBC 产品结构示意图

目前主流的 OBC 拓扑, 一般分为非隔离 AC/DC 的 PFC (如单 / 双向图腾柱 PFC, 或两电平) 和隔离 DC/DC 的谐振电路 (如 LLC, CLLC, DAB 等) 两部分。按 PFC 接入电网的制式 (单相或三相或多相兼容)、电池能量单向或双向、电池电压 400V 或 800V, 结合系统性能与成本指标等要求, 则具体的拓扑方案及器件选型都会有所不同。在单 / 三相电网兼容的 11kW OBC PFC 中, 基本以 1200V SiC MOEFET 单管的方案为主, 在三相电网充放电时, 以三相全桥拓扑运行, 例见图 8 (b) 为三相兼

容的 OBC PFC (3 线) 常见拓扑所示图。而在单相电网充放电时, 可选其中一组桥臂作为慢管工作, 其他桥臂交错或并联作为快管工作。因此, 在 OBC 应用中的 PFC 拓扑, 主流就是单相图腾柱 PFC 和三相全桥这两种。

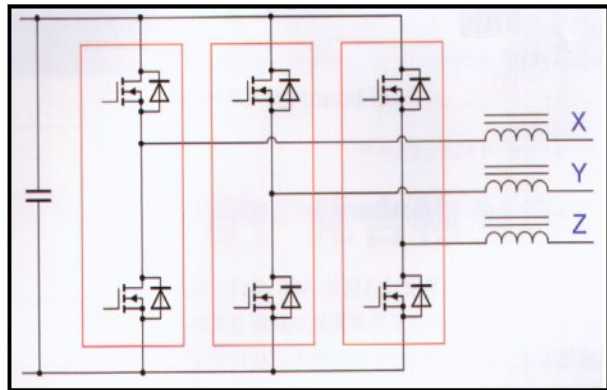


图 8 (b) 为三相兼容的 OBC PFC (3 线) 常见拓扑所示图

**4 后话与趋势**

(1) 汽车行业正经历一系列的数字化转型, 它不断迈向自动驾驶、高端信息娱乐系统、连接性和共享出行, 以解决当今驾驶员和乘客共同面临的问题。汽车计算架构也随之从分布式架构演变为具有强大 SoC 的集中式架构。中央计算中采用的 SoC 需要先进的电源管理解决方案加持, 尤其是核心电压轨。传统的电源解决方案已不再适用于下一代的中央计算电源应用。汽车 SoC 核心电源应用中使用的先进电源管理解决方案、数字多相控制器和 DrMOS 功率级必须是具备可扩展性、灵活性且紧凑的电源解决方案, 同时还要具备高效率 and 快速瞬态响应。

(2) 任何应用领域的工程师都必须考虑效率、功率密度和成本这些因素。即使还没有开展具体设计, 他们也意识到碳化硅 (SiC) 功率模块最大限度提高有源前端效率技术也是一种可行的解决方案, 实践证明碳化硅 (SiC) 是迄今为止在高功率应用中优于硅基器件的选择。

上接 143 页

[4] 黄永杰, 李世堃, 兰中文, 磁性材料 [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1993, 48-50.  
[5] 王继全. 钴铁氧体的各向异性与磁致伸缩研究 [D]. 北京: 北京科技大学, 2018. 123.

**作者简介**

黄浪 (1997), 男, 理学学士, 初级工程师, 主要从事软磁铁氧体材料的研究工作, [huanglang@tdgcore.com](mailto:huanglang@tdgcore.com)。