

高性能集成式动力总成解决方案： 电动汽车普及的关键



Nagarajan Sridhar

营销经理

高压电源、高功率驱动器

德州仪器 (TI)

TI POWER

本文探讨了使用集成式动力总成解决方案通过电力电子技术加快电动汽车普及的好处。重点介绍了宽带隙半导体开关和隔离式栅极驱动器的实施, 说明动力总成集成的价值。

内容概览

动力总成集成对于电动车的大规模市场推广至关重要。



1 性能改进: 提高功率密度

带高级诊断和保护功能的隔离式栅极驱动器实现集成和降低成本。



2 宽带隙半导体器件: 汽车市场的颠覆性技术

将碳化硅 (SiC) 和氮化镓 (GaN) 用于电源开关可提高电动汽车的效率。



3 系统级集成式动力总成解决方案

将动力总成集成到一个单元中, 降低成本和更大限度地增加布板空间。

随着越来越多的混合动力汽车 (HEV) 和电动汽车 (EV) 首次亮相, 汽车制造商正在提高车辆动力系统的电气化程度。受全球限制二氧化碳排放法规的推动, 销量每年以 20% 至 25% 的速度增长 [1], 预计到 2030 年将占汽车总销量的 20% 至 25% [2]。此外, 随着消费者对混合动力汽车的接受程度的提高, 也带来了性能更好、行驶里程更长的节能、坚固和紧凑型系统的更大需求。

该领域的主要顾虑之一是如何使混合动力汽车/电动汽车更实惠, 促进大众市场的采用并解决汽车制造商当前盈利能力不足的问题。如今, 小到中型电动汽车的平均价格比同等级别的内燃机汽车高出约 12,000 美元 [3]。

起初, 人们认为电池成本是造成价格差异的唯一原因。的确, 电池成本在未来可能会大幅下降。然而, 详细的商业模式最近表明, 其他选项也可以降低成本 [3] 并缩短原始设备制造商 (OEM) 使混合动力汽车/电动汽车销售实现盈利的时间。一种选择是按成本设计 (DTC), 它专注于动力总成集成, 即电力电

子组件放置得更紧密, 减少组件数量, 并将它们集成到更少的盒子中。

在本白皮书中, 我会介绍将 DTC 应用于电力电子产品如何使 OEM 能够实现大众市场的采用。首先, 我将解释为什么电力电子技术的进步能够在努力降低动力总成系统的 DTC 的同时减轻消费者的“里程焦虑”, 然后介绍旨在采用 DTC 的系统级集成式动力总成解决方案, 并特别着重介绍优化半导体集成电路 (IC) 和功率器件的内容。

解决里程焦虑

在购买混合动力汽车和电动汽车时, 里程焦虑一直是消费者最关心的问题。2020 年, 市场上预计将发布几款里程超过 200 英里 [4] 的电动汽车。即使在不同的 OEM 厂商中, 这些电动汽车的共同之处在于, 它们都采用了全新的动力总成平台设计, 优化了电池堆叠和封装以实现高续航里程。更高的电池组堆叠转化为更高的电压和更大的马力。

现代电动汽车的电池电压通常约为 400V, 但要获得更大的马力, 则需要将电池电压提高至 800V, 尤其是在高端电动汽车中。更高的电压可将相同的电流转换为更大的马力。电池堆叠和封装的优化可实现紧凑的空间和更低的 DTC。

此外, 在同样的功率下, 更高的电压可提高效率, 因为不用使用大电流, 从而可降低热耗散。更小的电缆直径和更低的重量反过来又降低了 DTC。

性能改进: 增强功率密度

动力总成系统的功效和大小确定了混合动力汽车或电动汽车的性能。功效与总体大小的比率 (也称为功率密度) 是电源管理领域的关键品质因数。目标是实现更高水平的功率密度。电动汽车行业正在通过集成将该目标扩展到动力总成系统 - 在更紧凑的空间内实现更高效率。在这种背景之下, “紧凑空间”意味着更小的印刷电路板 (PCB) 空间和外壳材料, 这也对 DTC 产生了积极的影响。

在电力电子领域, 包括车载充电器 (OBC)、直流/直流转换器 (

车载充电器

直流/直流转换器

牵引逆变器

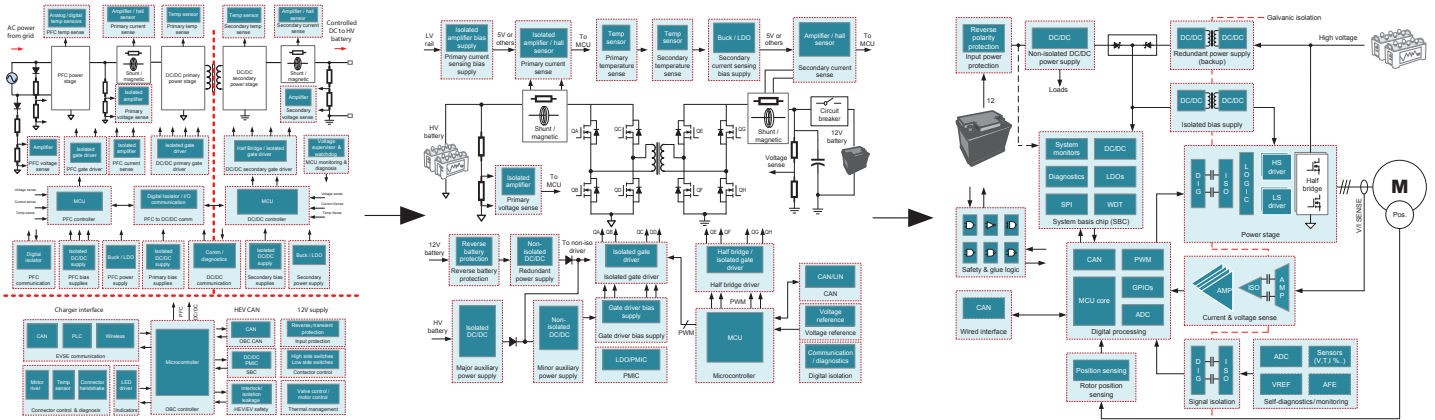


图 1.混合动力汽车/电动汽车中动力总成系统的方框图。

高电压到低电压)和牵引逆变器在内的动力总成子系统中的拓扑/架构、集成 IC 解决方案和半导体电源开关已经发生了重大变化。图 1 显示了混合动力汽车/电动汽车中动力总成系统的典型方框图。

下面让我们讨论一下这个变化对半导体电源开关的影响,以及它如何将高效电力电子架构所需的功能集成到 IC 中。这是系统级集成式动力总成解决方案的基础。

宽带隙半导体器件:汽车市场的颠覆性技术

动力电子在试图满足苛刻的功率密度要求方面起着至关重要的作用。动力电子产品中的功率半导体器件必须具有以下属性:

- 较低的功率损耗。
- 高频运行。
- 较高的结温。
- 高电压运行。
- 增强的热耗散。

与传统硅基电源开关(例如,大功率硅金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)和绝缘栅双极晶体管(IGBT))相比,应用先进的高电压器件(例如,为电源开关使用 SiC 和 GaN 的宽带隙半导体)可使混合动力汽车/电动汽车实现更高的效率。

随着功率水平升高,由于功率硅 MOSFET 或 IGBT 的最大工作温度存在限制(称为允许的结温),所以它们的热管理具有挑战性。由于存在此限制,所以需要在动力总成系统中增加冷却组件(例如,带有水套的大型铜块)-尤其是在牵引逆变器

中,在这个部件中,功率水平可能会升高到 100kW 以上。增加冷却组件会影响车辆的尺寸、重量和成本。相反,SiC 具有高得多的可容许结温。此外,SiC 的热导率比硅高两到三倍 [4]。SiC 同时具备高结温和高热导率,无需使用大铜块和水套,使其成为动力总成系统中的一种有吸引力的备选材料。因为 GaN 可以从几百千赫至兆赫范围内切换,所以在 OBC 和直流/直流转换器中使用 GaN 也可以显著减少无源元件(例如,磁性元件和电容器)。

有几家汽车制造商已经在其混合动力汽车/电动汽车动力总成设计中加入了宽带隙解决方案,以实现更大的马力和更高的效率以及更高的电池电压。此外,宽带隙解决方案通过改善热管理和减小尺寸,可以降低 DTC。虽然现在的宽带隙开关很昂贵,但随着时间的推移,其成本会下降。在某个系统水平下,消除或尽量减少用于冷却的机械块以及用于无源元件和外壳的材料量可实现更低的 DTC。

用于运行电源开关的隔离式栅极驱动器 IC

动力总成系统架构需要有隔离式栅极驱动器才能高效地驱动电源开关。隔离式栅极驱动器从控制器将脉宽调制信号转换为选通脉冲,从而实现电源开关打开或关闭。由于存在与电池相关的高电压,因此必须在控制器(初级侧)和电源开关(次级侧)之间进行电隔离。

电隔离是一种隔离电气系统的功能部分以防止直流电或不受控制的瞬态电流在它们之间流动的技术。但是,数据和能量确实需要通过此电隔离屏障。电容隔离是利用数字电路对传入信号进行编码和解码并使其通过隔离屏障的一种关键的隔离技术 [5, 6]。

由于具备高数据速率和高抗噪性 (高于 150V/ns 时也称为共模瞬变抗扰度 [CMTI]), 电容隔离是在隔离式栅极驱动器中实现隔离屏障的首选, 并可以帮助实现宽带隙解决方案的电势开关能力。动力总成经历高水平的噪音和振动。因此, 最好使用带有 CMTI 的栅极驱动器。此外, 隔离式栅极驱动器无需使用脉冲变压器或外部分立式隔离器, 因而可减小 PCB 空间、降低车辆成本和重量。

隔离式栅极驱动器集成: 系统级功能安全性和降低 DTC 的一个关键方面

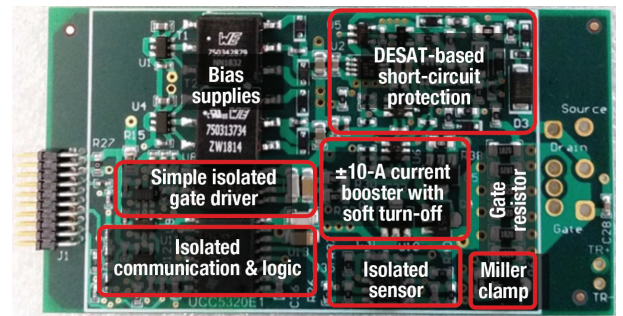
在系统级别, 当被视为黑盒时, 动力总成系统有三个半导体器件: 数字控制器 (微控制器)、隔离式栅极驱动器和功率半导体。

除了要求高效系统具有关键功能外, 隔离式栅极驱动器最近已成为主要组件, 这是因为对以极高功能安全级别开发的动力总成系统诊断和保护的需求日益增长。监控和保护需要智能地进行, 并且将这些功能集成到栅极驱动器中已成为一种流行的解决方案。

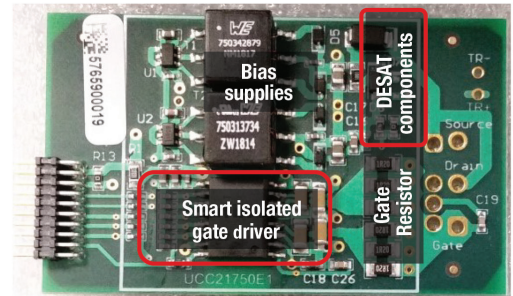
时基故障 (FIT) 率被认为是实现更高水平的汽车安全完整性的关键指标。例如, 时基故障率应小于 10 才能实现符合 ASIL D 的系统; 在牵引逆变器经常会看到这样的 ASIL 级别。牵引逆变器使电机旋转, 进而使车辆的车轮移动。类似的 ASIL 要求 (通常是 ASIL B 或 ASIL C) 现在也已成为 OBC 和直流/直流转换器的要求。

为了实现尽可能更低的时基故障率, 以往在系统中分散布置的所有诊断和保护功能现已集成到隔离式栅极驱动器中, 如图 2 所示。由于大大减少了组件数量和减小了 PCB 空间, 因

使用简单隔离式栅极驱动器的功率级



使用智能隔离式栅极驱动器的功率级



智能隔离式栅极驱动器的集成功能可实现:

- 系统成本显著降低
- PCB 面积减少 2 倍

图 2. 集成的优势。

此这直接降低了 DTC。TI 最近发布了 [UCC5870-Q1](#), 它可以提供先进水平的诊断和保护。该器件在减少组件方面具有显著优势, 可降低 DTC 并达到所需的 ASIL 级别, 如牵引逆变器系统的图 3 所示。

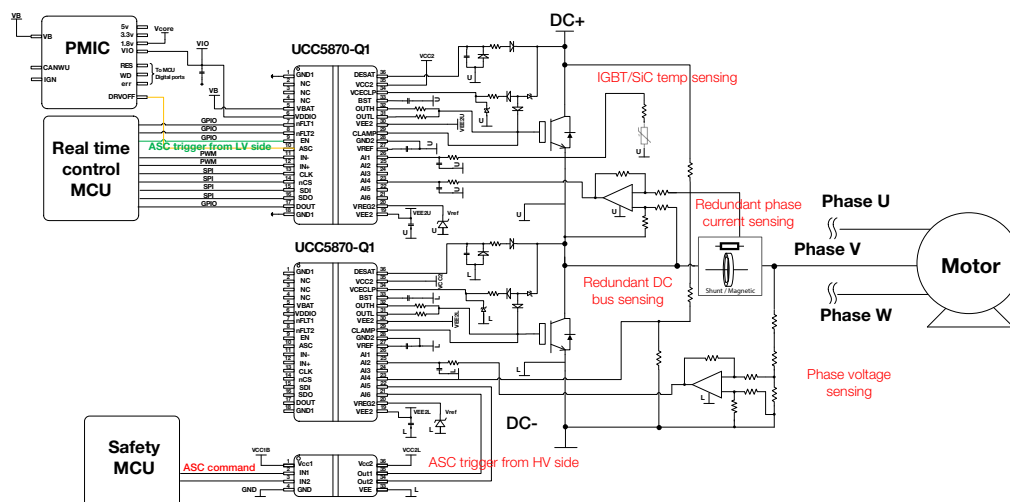


图 3 UCC5870-Q1 的优势。

另一个想法涉及开发可以进一步大大降低 DTC 的集成变压器偏置电源 IC, 适用于牵引逆变器、OBC 和直流/直流转换器。

系统级集成式动力总成解决方案

多年来, 重点一直放在动力系统中各个子系统的集成、减少 DTC 和功率密度改进上。通过将整个动力总成系统集成到一个单元中, OEM 厂商将其提高到更高水平, 以进一步降低成本, 这与 IC 行业中的片上系统概念相似。迄今为止, 第一步是将 OBC 和直流/直流子系统组合到一个盒子中, 将牵引逆变器和直流/直流子系统组合到一个盒子中。无论采用哪种配置, 集成式动力总成概念都可以显著降低动力总成系统的整体重量、增大功率重量比、消除子系统之间的布线并实现 DTC 目标。研究和原型已经将成本降低了多达 15% [7]。除了半导体元件级的栅极驱动器集成外, 在这些子系统之间共享 MCU 还可以进一步降低动力总成系统的总成本。

动力总成集成可降低组件成本以及验证时间, 因而可为 OEM 降低总拥有成本和缩短上市时间。但是, 所付出的一个代价是缺乏原始设计制造采购的灵活性。

结论

混合动力汽车和电动汽车市场正在快速增长, 并且似乎正通过实现更长的行驶里程和高性能而从最初的客户怀疑中恢复过来。这个市场的未来增长取决于成本降低, 以使消费者能够负担得起混合动力汽车和电动汽车, 并使原始设备制造商有利可图。

DTC 模型可实现降低动力总成子系统的电力电子中的成本。除了 SiC 和 GaN 等宽带隙电源开关以外, 隔离式栅极驱动器也已成为关键组件, 使 OEM 可以通过组件集成来降

低成本并实现高功能安全性级别。TI 新发布的栅极驱动器 UCC5870-Q1 提供了这样的解决方案。

将 OBC、直流/直流转换器和牵引逆变器组合成一个解决方案的新兴趋势将这种集成概念提升到一个新高度, 这既降低了成本, 又有益于增大功率重量比。

其它资源

1. Anwar, Asif. [混合动力汽车和电动汽车半导体技术展望: SiC 和 GaN 的作用是什么?](#) Strategy Analytics 预测和展望, 2019 年 7 月 17 日。
2. Enriquez, Mauro; Morel, Thomas; Mouliere, Pierre-Yves; Schafer, Philip. [电动汽车设计的趋势](#). McKinsey & Co., McKinsey Center for Future Mobility, 2017 年 10 月 25 日。
3. Baik, Yeon; Hensley, Russell; Hertzke, Patrick; Knupfer, Stefan. [助力电动汽车实现盈利](#). McKinsey & Co., McKinsey Center for Future Mobility, 2019 年 3 月 8 日。
4. Sridhar, Nagarajan. [碳化硅栅极驱动器 - 电力电子行业的颠覆性技术](#). 德州仪器 (TI) 白皮书 SLYY139A, 2019 年。
5. Bonifield, Tom. [实现高质量和可靠的高压信号隔离](#). 德州仪器 (TI) 白皮书, SSZY028, 2017 年。
6. Sridhar, Nagarajan. [隔离式栅极驱动器的影响](#). 德州仪器 (TI) 白皮书, SLYY140A, 2019 年。
7. Muhlberg, Gunter, Hackmann 博士, Wilhelm, Buzziol Kai. [高度集成的电动动力总成](#), ATZ elektronik worldwide, 2017 年 4 月。

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。TI 建议用户在下订单前查阅最新最全面的产品与服务信息。TI 对应用帮助、客户应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不承担任何责任。发布有关任何其他公司产品或服务的信息并不构成 TI 批准、担保或认可这些信息。

所有商标均为其各自所有者所有。

重要声明和免责声明

TI 提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 的销售条款 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122

Copyright © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司