



Jacob Vasquez

摘要

随着消费者和监管机构要求减少排放，高压 (HV) 牵引逆变器等汽车动力总成电气化产品的市场也在快速增长。为此，混合动力汽车和电动汽车 (XEV) 制造商将 HV 电池蓄电能力翻倍。通过将电池电压从 400V 增加到 800V，可减少对内燃机的依赖，缩短充电时间并提高续航里程。但是，改变电池电压会产生一些影响，尤其是对于在发生碰撞或故障期间工作的安全关键型系统。例如，在牵引逆变器架构中常见的冗余电源直接由 HV 电池供电。本应用手册讨论了使用 TI 汽车类反激式控制器进行高压转低压 (HV-LV) 冗余电源设计时的主要注意事项。

内容

1 简介.....	2
2 选择器件.....	3
3 启动电路.....	3
4 噪声耦合.....	4
5 安全.....	4
6 总结.....	5
7 相关文档.....	5
8 修订历史记录.....	6

插图清单

图 1-1. 牵引逆变器方框图.....	2
图 3-1. 有源启动电路.....	3
图 3-2. 支持大于 700V 输入的实现方案.....	4

表格清单

表 7-1. 反激式控制器系列亮点.....	5
------------------------	---

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

牵引逆变器将高压电池的直流电源高效地转换为驱动多相电机所需的交流电源。需要使用电隔离来保护人员以及系统冷侧的低压元件，以免受到系统热侧高压牵引逆变器的影响。随着汽车应用继续朝着提高安全性的方向发展，在牵引逆变器系统中包含高压转低压备用电源变得越来越常见。如果 12V 电池发生故障或 HV 电池断开连接，备用电源将为低压元件供电。图 1-1 展示了一个包含高压转低压冗余电源的示例方框图。

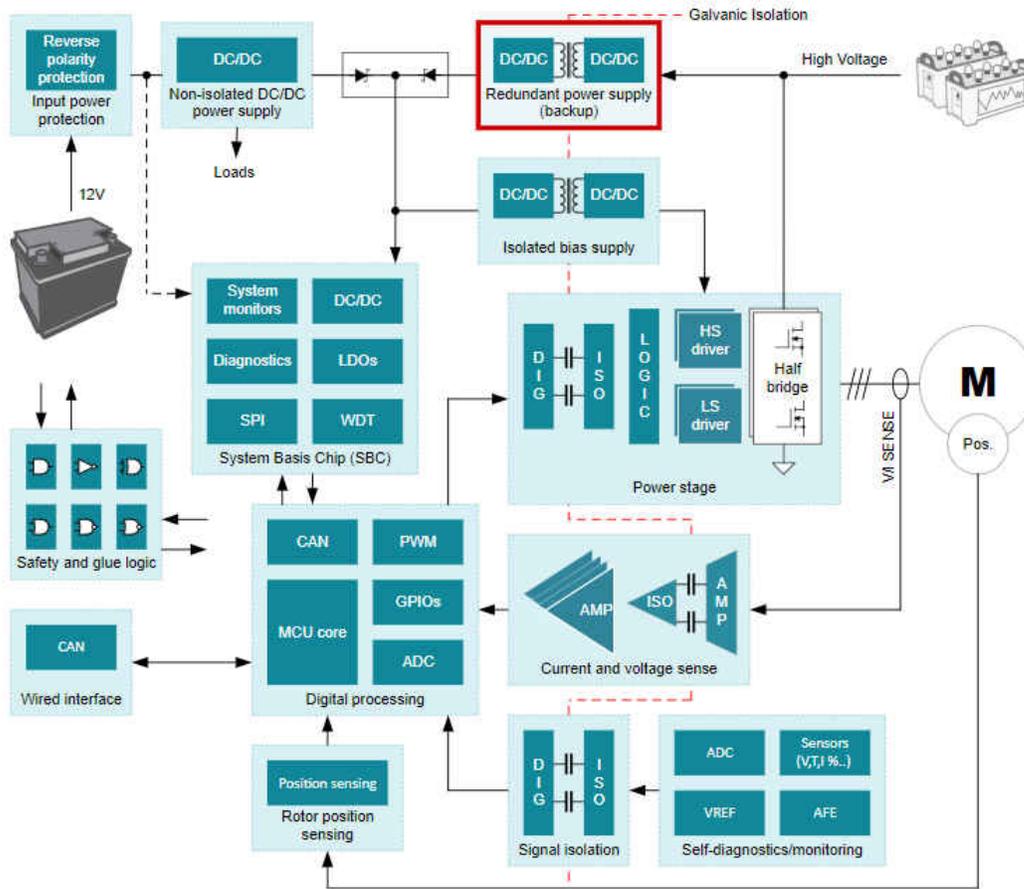


图 1-1. 牵引逆变器方框图

由于具有低成本、隔离能力和灵活性，反激式拓扑适用于冗余电源。UCC28C56H-Q1 或 UCC28700-Q1 等反激式控制器适用于此应用。对于需要超效率和功率密度的系统，UCC28781-Q1 可提供更高的开关频率、直接同步整流器 FET 控制、可实现超低开关损耗和 EMI 的零电压开关，以及适用于轻负载和空载条件的可编程自适应突发模式。

高压输入反激式转换器需要支持超宽输入电压。根据架构的不同，可能需要备用电源在低至 40V 至 60V 的电压范围内运行。该辅助电源可以实现对直流链路电容器进行有源放电或对电机进行主动短路。直流总线上的高压瞬变可能振幅超过 1kV 并持续几秒钟，因此 800V 电池系统可能需要 1kV 的最大输入电压来留出一定的裕度。在这些情况下，所选的模拟控制器和变压器必须在设计时考虑占空比限制和最短导通时间，且不影响整个负载范围内的调节精度或瞬态响应。

功能安全要求规定了在特定运行条件下保护测试人员和最终用户免受潜在风险影响的措施。因此，从 800V 而不是 400V 为高压转低压备用电源供电带来了新的交互式设计挑战。更具体地说，这些挑战是使用汽车级 HV 功率器件实现超宽输入电压范围设计，以及根据成本和尺寸限制优化设计性能，同时确保系统满足安全要求等。

2 选择器件

通常，对于汽车高压输入反激式电源设计，应当在尽可能降低成本的基础上优化所有元件额定值，而又不能违背爬电距离和间隙规则。例如，使用一个较大的大容量输入电容器也许可行，但使用多个较小的电容器可能更便宜或尺寸更小。大型元件也可能具有较大的寄生电容，这会使符合 EMI 法规要求变得更加困难。

许多因素都会影响变压器和 EMI 滤波电感器等磁性元件的设计和选择。磁性元件对于隔离式拓扑尤其重要，因为它们在确定整体系统性能方面发挥着重要作用。首先，这些元件必须设计为能够以足够的裕度适应峰值和均方根电流，并且符合汽车产品的隔离要求。然后，必须考虑形状和磁芯类型以优化磁通密度。最后，必须选择绕组和端接结构。磁性元件设计是一个复杂的迭代过程。通常建议与可提供自定义解决方案的外部供应商合作。

在选择功率器件时，必须考虑最大输入电压。对于 400V 电池系统，可以使用硅或氮化镓 FET。对于 800V 电池系统，碳化硅 (SiC) MOSFET 由于具有快速开关和高电压额定值（通常为 900V 或更高），变得越来越受欢迎。在任一种情况下，具有适当的驱动强度都可确保整个寿命期的可靠性。

反激式控制器中集成的硅 MOSFET 驱动器可能无法直接驱动 SiC MOSFET。在这些情况下，建议使用外部栅极驱动器电路或 UCC27531A-Q1 等低侧栅极驱动器。

必须仔细考虑反激式控制器的 UVLO 关断阈值。对于 SiC 应用，建议使用大于 8V 的 UVLO 关断电压，来确保 SiC MOSFET 的寿命可靠性。低于 8V 的驱动电压会导致功率器件在饱和区域运行，从而导致高导通损耗和发热。但是，硅 MOSFET 通常支持低于 8V 的驱动电压。

3 启动电路

待机功耗是电池供电系统的一项关键要求。电阻启动电路会在高输入电压下产生高静态损耗。因此，建议使用外部有源启动电路或集成高压启动功能的器件，例如 UCC28730-Q1 或 UCC28740-Q1。

图 3-1 展示了如何为采用 UCC28C56H-Q1 等电阻启动的控制器实现外部有源启动电路。

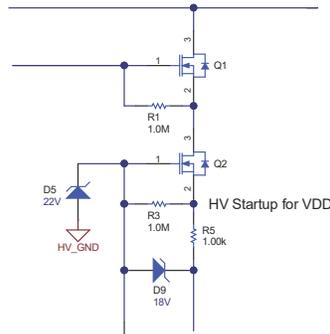


图 3-1. 有源启动电路

UCC28730-Q1 和 UCC28740-Q1 提供了集成式 700V 启动，因此可直接由 400V 电池供电运行，而不是由 800V 电池供电运行。如图 3-2 所示，从堆叠电容器组的中心点为启动电路供电，或使用钳位电路来钳制电压，可直接依靠 800V 电池运行。

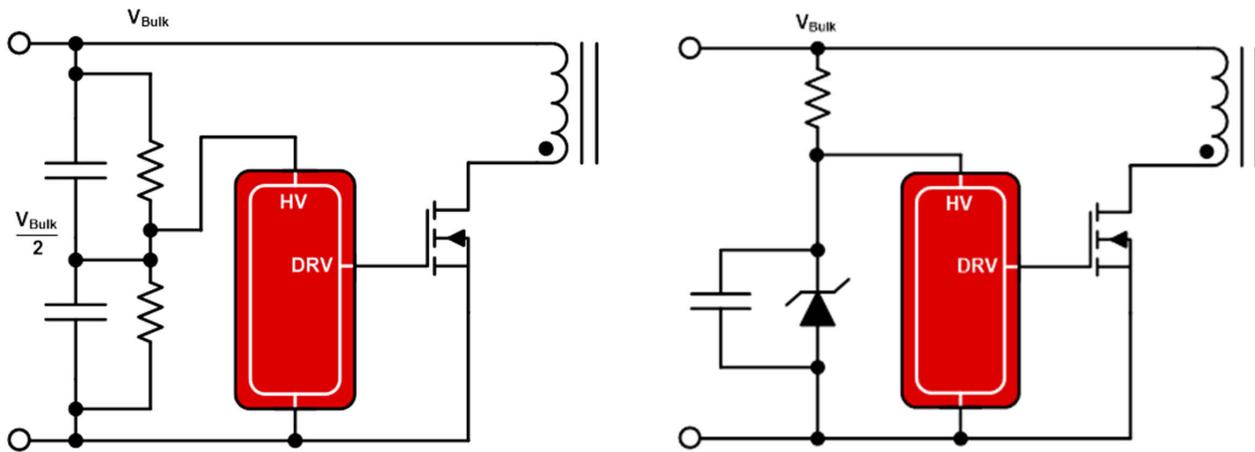


图 3-2. 支持大于 700V 输入的实现方案

UCC28700-Q1、UCC28730-Q1 和 UCC28740-Q1 变频峰值电流模式反激式控制器和 UCC28C56H-Q1 固定频率峰值电流模式 PWM 控制器提供了宽 UVLO 迟滞，允许在触发 UVLO 之前在 VDD 电压上留出更多的裕度，这提供了较长的软启动时间，并且在 VDD 引脚上需要的电容更少。

4 噪声耦合

功率器件和相关缓冲器的高电压输入和快速开关可能会导致高 dv/dt 开关节点，从而产生大量噪声。在高压直流/直流转换器中，高 di/dt 环路或高 dV/dt 节点的其他来源是栅极驱动、次级侧整流器和变压器绕组。

在设计备用反激式转换器时，必须考虑电流检测引脚的额定电压。当在超宽输入电压范围内和嘈杂的环境中运行时，较高的电流检测 (CS) 电压额定值可以提高稳健性，防止发生 CS 引脚误触发。

高 dv/dt 节点必须保持较小并远离电流检测电路等安静区域，以减少噪声耦合。糟糕的布局可能导致设计无法满足所需的机械和电气规格，从而无法确保安全、可预测的运行。

5 安全

初级侧的高压区域与次级侧的低压区域之间必须有足够的间隙距离，以符合 IEC 60664-1 等标准。低压侧的接地端可以连接至 12V 电池或车辆底盘，用户可以接触到这些部位。因此，对于此应用，建议使用具有增强型隔离且符合 AEC-Q200 1 级标准的变压器。

初级侧稳压反激式解决方案 UCC28700-Q1 和 UCC28730-Q1 不需要光耦合器来提供反馈。这样就无需跨越隔离栅的元件，提供了一种更具成本效益的解决方案。通过使用辅助绕组提供反馈，UCC28C56H-Q1 可配置为初级侧稳压解决方案。

并非所有系统都可以通过水或风扇主动冷却。因此，可以使用散热过孔、内层和散热器来管理变压器绕组、功率晶体管或整流二极管等热点。

6 总结

在设计高压转低压冗余反激式电源时，需要仔细考虑所选的汽车级高压器件，从而更大限度地减少待机功耗和噪声耦合，并确保系统满足安全要求。对于高压功率器件选择，400V 系统通常可以使用硅 MOSFET。但是，800V 系统通常使用碳化硅 MOSFET，因为它们具有较高的额定电压（通常为 900V 或更高）。为了更大限度降低待机功耗，可以使用外部或内部启动电路。高电流检测电压额定值提供了额外的稳健性，可防止在嘈杂环境中发生 CS 引脚误触发。初级侧稳压反馈不需要光耦合器，这提高了系统可靠性并且无需跨越隔离栅的元件。

评估模块 [UCC28C56EVM-066](#) 展示了一个 40V 至 1kV 输入高压转低压冗余电源解决方案。[UCC28781EVM-053](#) 50V 至 500V V_{in} 反激式参考设计也展示了一种可能适用于此应用的解决方案。[表 7-1](#) 介绍了不同 TI 汽车反激式解决方案之间的差异。

7 相关文档

- 德州仪器 (TI), [高 UVLO 为何对于 IGBT 和 SiC MOSFET 电源开关的安全运行而言很重要?](#) 应用简报。

表 7-1. 反激式控制器系列亮点

器件	1%	工作模式	控制律	内部高压启动	UVLO 开/关阈值 (典型值)	最大电流检测阈值 (典型值)	封装
UCC28C56H-Q1	PSR 或 SSR (1)、(2)	DCM 或 CCM (3)、(4)	固定频率 PWM	否	14.5 V/9 V	1V	SOIC-8
UCC28700-Q1	PSR (1)	DCM (3)	AMFM (5)	否	21 V/8 V	0.75V	SOT23-6
UCC28730-Q1	PSR (1)	DCM (3)	AMFM (5)	是	21 V/7 V	0.74 V	SOIC-7
UCC28740-Q1	SSR(2)	DCM(3)	AMFM(5)	是	21 V/7.75 V	0.773 V	SOIC-7
UCC28781-Q1	SSR	TM	AMFM	否	17 V/10.5 V	0.801 V	WQFN-24

- (1) PSR = 初级侧调节
 (2) SSR = 次级侧调节
 (3) DCM = 非连续导通模式
 (4) CCM = 连续导通模式
 (5) AMFM = 幅度调制/频率调制

8 修订历史记录

Changes from Revision B (October 2019) to Revision C (February 2023)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1
• 在整个出版物中将 400V 电池 更新成了 800V	1
• 在整个出版物中添加了有关终端设备的额外信息以及新产品和设计相关内容.....	1

重要声明和免责声明

TI“按原样”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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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](#) 或 [ti.com](#) 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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司