

Application Brief

针对电励同步电机优化励磁功率级



本应用简报概述了电励同步电机 (EESM)、汽车电气化中当前趋势的电机，并为德州仪器 (TI) 的励磁电路提供了系统建议。

简介

当今汽车行业最常用的机器之一是永磁同步电机 (PMSM)，因为它具有高效率和高功率密度，其次是交流感应电机，主要用作前驱机器。当前趋势是推动 OEM 更多地转向 EESM。其中一个主要原因是稀土材料的减少，这减轻了环境问题，并且也降低了供应风险和成本不可预测性。

电励同步电机工作原理

EESM 和 PMSM 采用相同的同步旋转原理，其中定子的旋转磁场和转子的磁场以相同的速度旋转。

与 PMSM 一样，定子旋转磁场由定子绕组中的三相交流电流生成。另一方面，EESM 不是安装永磁体，而是将场绕组安装在转子上。提供直流电流以通过滑环和电刷励磁绕组，或通过无刷励磁电路来励磁绕组。施加电流后，这些绕组的行为就像电磁体，并且转子会产生固定磁场。

通过这两个磁场间的磁锁定来实现同步。对齐这些磁场时，会产生电磁扭矩，扭矩会尝试减少它们之间的角度位移。转子会加速或减速，直到两个磁场以相同的速度旋转。

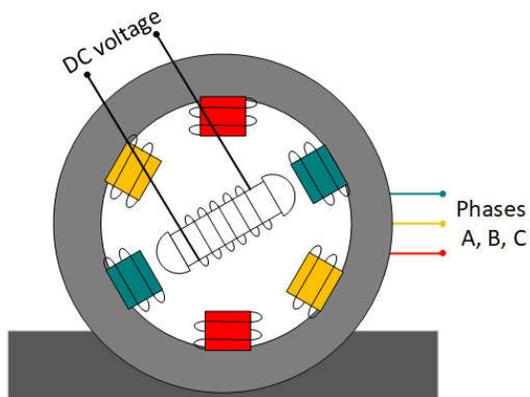


图 1. 电励同步电机

电励式同步机器的优势

EESM 的主要驱动因素之一是减少对于稀土材料的依赖。通过消除永久磁铁，EESM 避免使用稀土元素，从而提高供应安全性和可持续性。

与 PMSM 不同，EESM 通过调节励磁电流来实现简单的转子磁通控制。因此，这种类型的机器能够实现更简单的弱磁控制，从而确保在较高的运行速度下实现几乎恒定的功率范围和更高效率。

另一个关键优势是，在故障条件下，这种类型的机器不会引入明显的反电动势 (反 EMF)。发生故障时，需要零场电流，这个零电流也使转子磁通为零。这样，与 PMSM 相比，安全状态变得更容易实现。但是，需要额外的电路和软件控制来控制励磁电流。

励磁电路的系统设计

除了标准逆变器拓扑之外，EESM 的运行还需要额外的励磁电路。该电路用于提供和控制转子磁场电流并且确保安全可靠地运行。由于它直接影响机器的运行，因此它需要符合 ISO28282 的 ASIL 等级。

图 2 显示了导电 EESM 的励磁电路示例，其中电刷与将直流电流输送到场绕组的滑环进行物理接触。

它包含两个电源开关和两个二极管，连接在 HV+ 和 HV- 之间。当两个开关都导通时，会向转子绕组施加完整的直流链路电压。如果只有一个开关导通，电流会缓慢降低，而当两个开关都断开时，电流会通过续流二极管降低。

这些开关的典型最大电流不会超过 50A。控制信号由隔离式栅极驱动器提供，该驱动器由隔离式辅助电源供电。此外，闭合控制环路需要一个或两个电流传感器，因为该电流与磁场成正比，直接影响机器的行为。

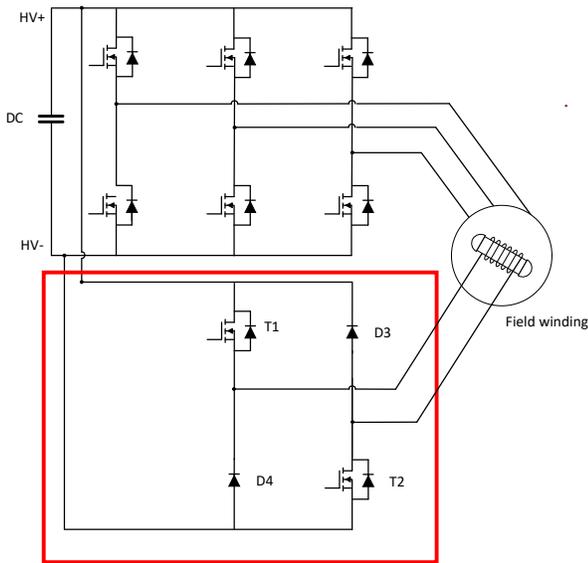


图 2. 额外励磁电路

器件的选择至关重要，因为它对机器的性能、可靠性和效率有直接影响。该系统依赖于快速开关、稳定偏置以及精确的电流反馈。

图 3 展示了建议的系统设计，其中所选器件可促成紧凑的实现和高精度控制。

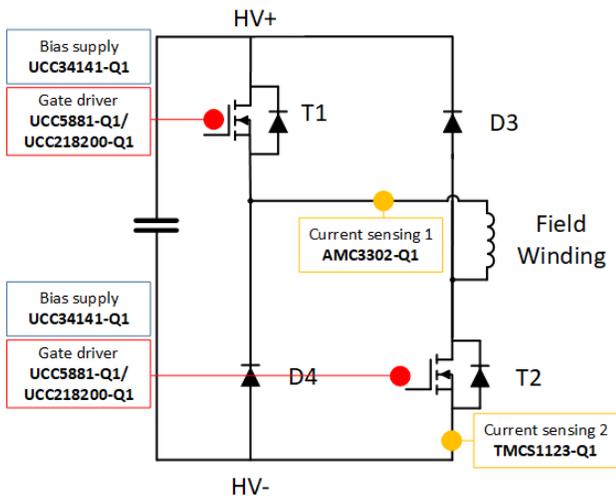


图 3. 励磁电路的系统建议

UCC218200-Q1 是一款标准的隔离式保护驱动器，无需 SPI 通信即可运行，同时仍提供集成的高级特性来增强功能安全性。该驱动器具有 DESAT 保护、输出电压栅极监控比较器及上电期间的内置自检 (BIST) 诊断功能。

为了进一步减小整体设计尺寸，TI 提供了 UCC5881-Q1，这是一款可编程的功能安全合规型隔离式栅极驱动器。除了上述功能外，该栅极驱动器还提供了更多功

能，例如有源米勒钳位、2 个用于次级侧检测的 ADC 通道以及可调栅极驱动强度，使设计更加紧凑和高效。

栅极驱动器可通过不同的隔离式辅助电源拓扑供电。根据不同的拓扑，隔离式辅助电源可以直接连接到 LV 电池，也可以使用直流/直流转换器通过前置稳压器连接到 LV 或/和 HV 电池。UCC25800-Q1 是一款超低 EMI 变压器驱动器，用于具有高达 1.2MHz 开关频率的开环 LLC 拓扑。另一种常用的拓扑是推挽式拓扑，其中 TI 提供 SN6501-Q1 和 SN6507-Q1 器件，具有 3V 至 36V 的宽输入电压范围。LM5181-Q1 反激式转换器可实现更宽输入范围 (4.5V 至 65V)。借助宽输入电压，可以移除前置稳压器。为了将来减小系统尺寸和重量，同时简化 PCB 布线，可以使用具有集成变压器的隔离式直流/直流模块。UCC34141-Q1 和 UCC35131-Q1 器件可提供高达 1.5W 和 2W 的输出功率。

除了栅极驱动器和辅助电源，电流检测也发挥着重要作用，因为其精度和可靠性会直接影响磁通控制。第一种方法是使用基于分流器的电流检测，这是我们全新的 AMC3302-Q1 隔离式放大器。此器件具有 $\pm 50\text{mV}$ 的输入电压范围，并具有集成式直流/直流转换器，可实现单电源运行。除了放大器之外，TI 还提供电隔离霍尔效应传感器。TMCS1123-Q1 具有 250kHz 带宽，能够测量高达 80A 的最大持续电流，同时集成了过流检测功能和环境磁场抑制功能。

除了导电 EESM 外，如上图所示，还有用于 EESM 的电感式励磁电路，其中使用磁 (电感) 耦合传输励磁。此类设计的好处是虽然增加了系统成本，但维护成本更低。

结语

EESM 正在成为汽车行业的一项关键技术，通过直接磁通控制来提升高速效率并提供灵活性。如果发生故障，切断励磁电流可消除高反 EMF 电压或不受控制的旋转风险。尽管需要额外的励磁回路，但这些机器不依赖于稀土材料，从而降低了供应风险和机器成本。EESM 借助用高度集成的高性能器件正确设计的励磁电路，为下一代电动汽车提供具有成本效益的设计。

商标

所有商标均为其各自所有者所有。

重要通知和免责声明

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、与某特定用途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、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月