

# 高电压， 低风险



基于FPGA和CPU组合的灵活HIL仿真使电机更高效、  
开发更安全

现代电驱动具有高功率，能够实现出色的控制性能，并精确到微秒。在当今驱动器的开发过程中，制造商利用高效的平台来实现大功率驱动产品的开发，同时确保操作可靠性。为实现这一目标，巨一公司使用带有强大软件建模功能和SCALEXIO硬件的dSPACE产品实现硬件在环（HIL）测试。

“开放的dSPACE模型库对该项目非常重要。使用ASM和XSG库使我们能够在实验室条件下进行测量，避免了在真实测试台架上所面临的巨大挑战。”

姜莹，巨一

**作**为中国领先的电驱动系统供应商，巨一推动了众多领域的发展，其中既包括单个组件，也包括由电机、变频器和减速齿轮组成的高度集成的解决方案。除了工业车辆和乘用车的纯电动系统外，巨一还关注插电式混合动力汽车 (PHEV) 的电驱动系统。根据ISO 26262标准，必须保证电机控制系统的功能安全。为了确保所需的安全性并在开发层面实现最高效率，巨一在早期开发阶段便采用了dSPACE HIL系统对目标硬件进行软件安全测试和验证。

### 多级控制

电机控制系统的典型配置包括一个控制器和一个电源模块 (图 1)。这个强大的系统进行算法计算，并将控制信号转换为三相高压以驱动电机。电机产生的扭矩被传输至动力传动系统。

### 验证系统和设计

为了验证电机ECU，dSPACE为巨一提供了定制的 HIL仿真系统，专用于信号级仿真。这意味着ECU的实际控制器绕过功率器件直接连接到HIL仿真器，并反馈相关信号。这一过

程的优点是可以完整验证控制器，而无需在实验室条件下生成真实电流和电压。这不仅能降低成本和资源消耗，而且对操作安全也特别有帮助，因为在测试阶段就可以避免潜在危险电压和电流带来的风险。

### HIL仿真器的模型

在此HIL系统中，模型拓扑如下所示：仿真模型包括逆变器模型、电机模型、电池模型和机械模型 (图 2)。逆变器和电机模型的高动态响应以及控制属性要求很快的仿真和计算速度。为了满足这一要

>>

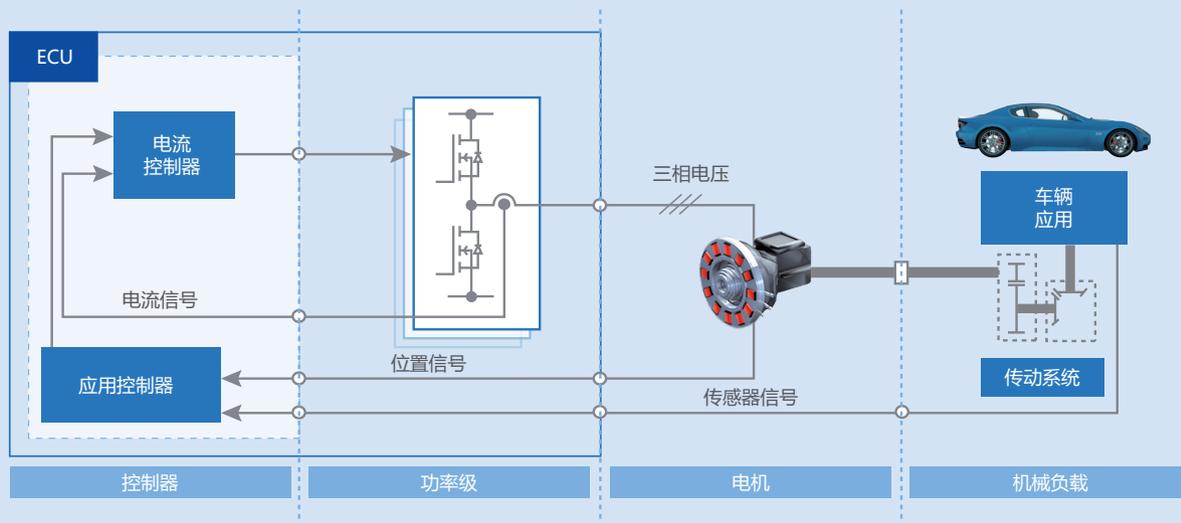


图 1: 电机控制的配置。

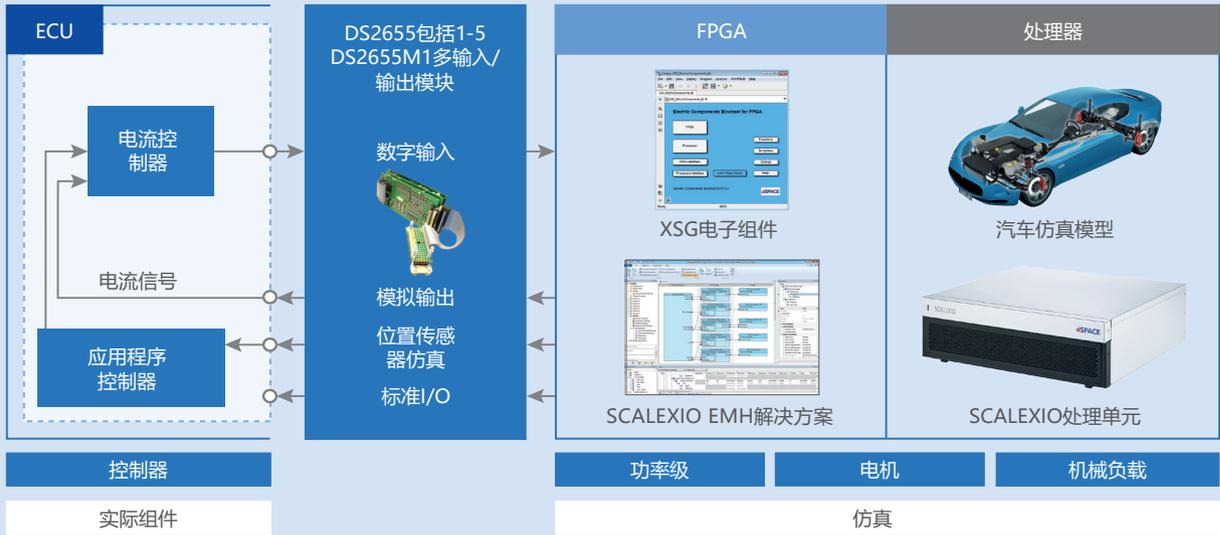


图 2: HIL 模型的结构。

求，必须通过FPGA芯片实施仿真算法。因此，相应地划分了巨一仿真的结构（图 3）：FPGA部分包含需要快速计算的模型（逆变器、电机和旋变），而主处理器部分包含对时间要求较低的模型，如负载模型。

**开放模型促进适应过程**

dSPACE XSG Electric Components Library 和 ASM Electric Components

中的软件模型也起到了关键作用。巨一使用开放的 dSPACE ASM库，对整个车辆或组件进行仿真，如异步电机和控制器。巨一还使用了 XSG Electric Components Library，客户可以将其与dSPACE Engineering Services结合使用来开发新模型。巨一修改了现有的异步电机模型，以开发用于异步电机的控制器。通过这一修改，还有可能进行相应测

量，并对整个项目的成功具有决定性意义。因为在真实测试台架上进行相应的测试（也是一种替代方法）将面临相当大的挑战。

**功能安全**

在电机控制系统功能安全的开发和测试过程中，巨一对HIL系统上的各种故障进行仿真，以测试控制系统中的故障诊断和故障处理控制策

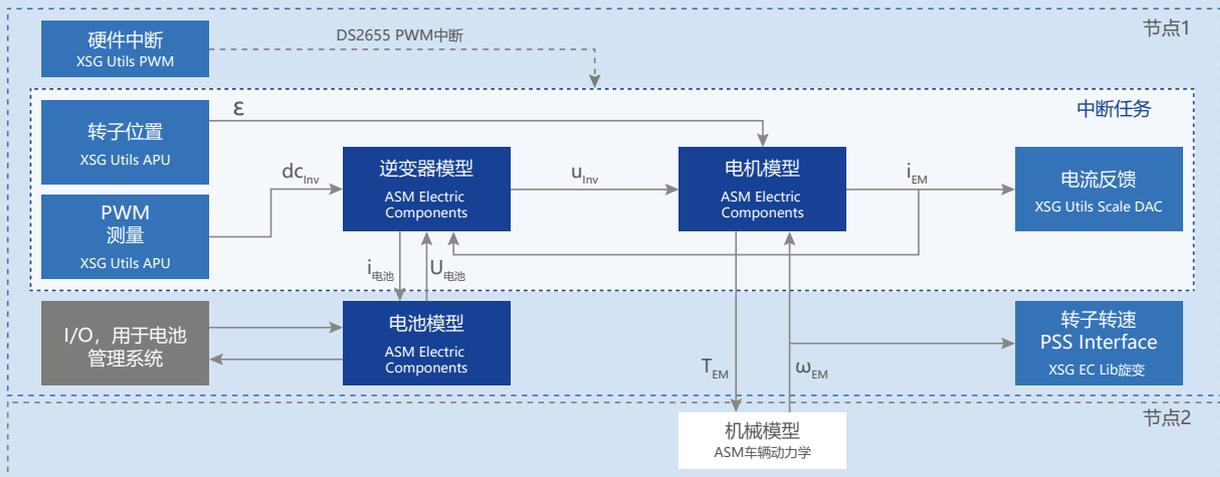


图 3: 模型拓扑。

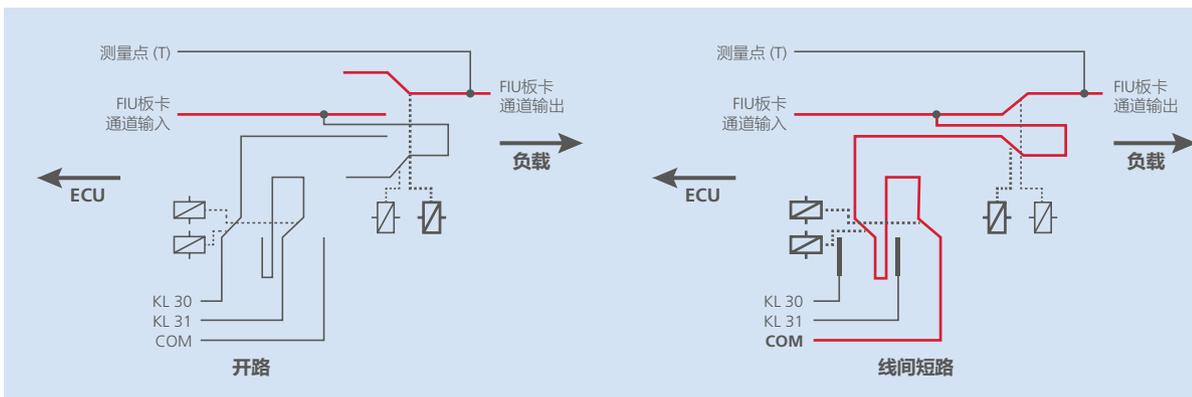


图4：故障注入单元 (FIU) 的图示。

“通过在早期使用dSPACE HIL系统，整个开发流程的效率和工作安全性都得到了显著改善。”

张茨，巨一

略。dSPACE HIL系统中的故障注入单元 (FIU) 的故障诊断单元主要用于ECU布线，以测试线束中可能存在的故障，例如对地短路、对电位短路、针脚之间短路以及电压下降。此任务由上位机执行，上位机通过RS232 接口控制相应的硬件模块。dSPACE HIL系统的故障注入单元使巨一能够方便地实现与安全相关的功能测试和故障注入 (图 4)。利用灵活的实时残余总线仿真，即使在系统不完整的情况下也可以实现这一点。此外，测试用例可以复现，开发周期也可以加快。

### 测试自动化

HIL测试的一个重要部分是测试自动化。测试自动化侧重于根据预定义的自动化序列执行自动、可重复的测试和调试。在dSPACE工程师的指导下，借助dSPACE ControlDesk 中的Python API库，可以对测试用例进行编程以执行更复杂的测试例程。巨一构建了HIL 测试自动化平台，并为各种项目创建了 HIL测试用例数据

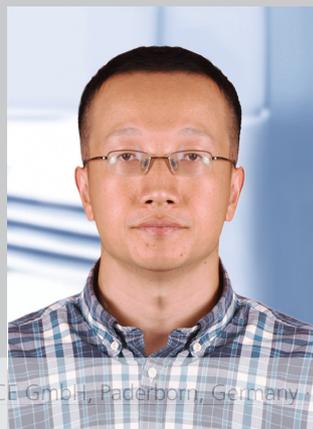
库，从而显著提高了测试用例的开发效率和可复用性。

### 结果

从早期开发阶段到测试阶段，dSPACE HIL系统的广泛应用大大加快了巨一电机控制项目的进展。除了高效提升技术成熟度之外，真实测试台架上的操作时间也缩短了。因此，HIL系统提高了操作安全，同时节省了必要的资源。■

张茨

张茨是中国合肥巨一公司的研发主管。



姜莹

姜莹是中国合肥巨一公司的高级系统工程师。

