

新型 48 伏汽车电气系统将开启低成本高效率混合动力驱动的大门这将为验证已安装的动力电子设备带来新的挑战。为了向汽车行业提供测试服务，韩国汽车技术研究院 (KATECH) 正在使用 dSPACE 推出的完整、灵活的测试系统。

在功率级验证混合动力传动系统的 ECU

# 虚拟 轻度混合动力







基于皮带驱动型启动发电机轻度混合动力车示例



将电动机与变速箱输入轴集成的混动传动系统示例

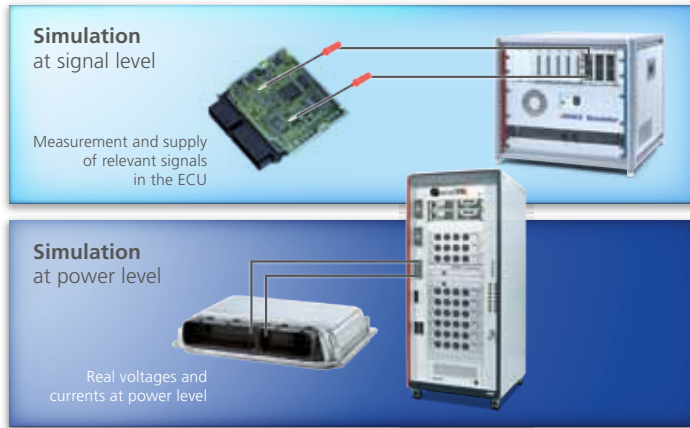


**车** 辆上用电设备的数量不断稳步增长，导致了电功耗的增加。用车载 12 伏电源为高功耗部件供电时，经常会达到其功率极限。48 伏系统的引入成功突破了这一瓶颈。它可以利用更低的电流达到相同甚至更高的性能水平。为满足 48 伏系统的需求，汽车制造商重新设计了电气系统及其组件，例如电池、逆变器和发电机。一些行业领先的 OEM 厂商已经同意在其车载电网中采用通用型架构元素，包括 48 伏电池单元、适用于所有电动和混合动力车辆的充电端口，以及支持局部网络操作的 CAN 总线接口。这些技术是进一步开发经济高效的混合动力传动系统的决策依据。

### 低成本高效率的 48 伏轻度混合动力技术

当今传统混合动力车辆的驱动电机直接与内燃机相连。这就需要对车辆整体设计和复杂的电气组件进行深入改装。开发时间和成本将大幅增加，导致终端用户采购价格居高不下。轻度混合动力系统是一种折中方案，可以提高燃油效率，最大限度减少对于车身的概念性更改。该系统仅支持内燃机，无法单独依靠电力驾驶。电动机通过皮带驱动与内燃机耦合，从而取代了起动机和发电机。这一概念可以为更高集成级别提供充足的灵活性。例如，将电动机附加到曲轴或变速箱输入轴上。电力驱动需要一块独立的电池提供电力。

>>



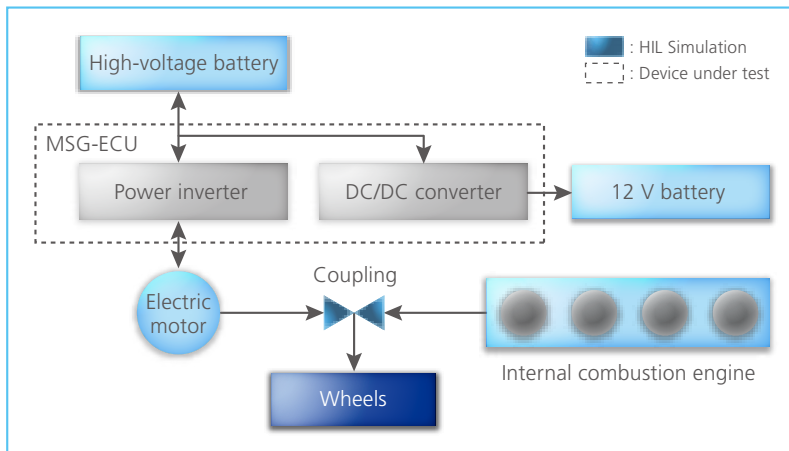
测试控制设备，包括功率级：功率级仿真中，控制系统在ECU功率模块的实际电压级电流将被模拟（下图）。信号级仿真中，开放式的ECU相关信号会从功率模块的输入端被提取（上图）

### 一体化的起动发电机

为充分利用 48 伏系统的优点并满足其要求，汽车供应商开发了一种电动机，该电动机被设计成集成电动起动发电机 (MSG) 并与内燃机耦合。这一创新的驱动组件将四大功能集成到一个系统之中：制动能量回收、起动过程中的扭矩支持、特别舒适的启停控制和节能滑行。该款发电机专门设计成约 10 千瓦的容量。电能存储在紧

凑的锂电池中，这种电池的尺寸不超过传统起动机电池。未配备 48 伏电源或配备传统 12 伏组件的车辆需要一个（双向）直流转换器来操作 12 伏的电池和组件。所用功能和产生交流电压的转换器都被集成到一个控制器上。作为选择，直流转换器可以安装在独立外壳中。这就将控制电子装置与功率级结合在一切，支持发动机电流和电压转换。

轻度混合动力的控制单元 (MSG-ECU) 作为被测试设备并对组件进行仿真（高压电池、12 伏电池、电动机）。



### ECU 测试要求

韩国汽车技术研究院 (KATECH) 作为服务提供商，为韩国汽车行业提供了一种测试服务，可以充分有效地验证与安全相关的 MSG 控制器的功能。其目标是提供一种使用简单舒适的测试系统，可以直接连接不同集成级别和不同制造商生产的控制设备。这就要求功率级仿真，因为被测设备通常必须针对仿真做出修改（即开放式）以便将控制与功率模块分开，便于将控制部分连接到仿真系统。在更多时候，这是一项棘手的任务，因为被测设备通常为外购件或者由于较高的系统集成度而彼此紧密相连。针对这项任务，仿真器必须在功率级对电动机进行仿真，以便准确呈现实际的发动机电流和电压。这项挑战尤为艰难。一方面，必须测试 250 安持续电流范围内的高电流和高达 550 安的峰值电流。另一方面，逼真地模拟电气装置需要高动态特性。

### 仿真器概念

对于 KATECH 来说，最重要的是获得最佳的综合测试系统，其中所有的重要组件都采购自同一来源。他们委托 dSPACE 公司设计一款仿真器并将其投入使用。为体现控制系统的动态特性，该概念提供了两个计算平台。第一个是基于处理器的平台（四核 DS1006 处理器板），用于仿真车辆电气系统、车辆力学和残余总线。第二个平台（DS5203 FPGA 板）以现场可编程门阵列为基

础，其针对电动机仿真的高度动态过程进行了优化。被称作电子负载的特有功率模块，根据 FPGA 信号生成电动机电流。所有被仿真计算的组件均来自于 dSPACE 模型库，包括汽车仿真模型 (ASM) 和 XSG 电气元件库。

### 仿真器的结构和性能

仿真器的组件集成在一个 19 英寸的机柜中。仿真高压电池的端电压由两个并行稳压电源提供。电机仿真的功率输出模块由 6 个 DS5381 电子负载模块提供。它们可以仿真交流电机的三相电流。各相电流仿真中，6 个模块并联仿真，可产生持续 250A 的持续电流<sub>rms</sub> 以及 10s 钟为 550A 的<sub>peak</sub> 峰值电流。另有 3 个电子负载模块用于仿真一个 12V<sub>DC</sub> / ±170A<sub>DC</sub> 的直流源/终端这为测试的直流变换器提供了负载，用于仿真包含电气负载及电池的 12V 电气网络

### 仿真器的特殊功能

仿真器不仅能够处理高电流。同时还可以提供优异的能源利用效率，专门为高仿真质量而设计，能够仿真不同类型的电机。

#### ■ 回收带来的能源效率：

通过被测试的 ECU 和流经 48 伏直流连接的电子负载之间的功率循环，对于系统从供电获取的功率，仿真有效功率可能要显著高于电子负载的功率消耗。电源供应单元仅涵盖被测试的 ECU 和电子负载的功率损耗。这使仿真器



测试系统由一个 dSPACE 仿真器及其连接的 ECU 组成。

的实际功耗远低于被测试 ECU 的功率将能量回馈至系统供电是没有必要的。

#### ■ 仿真质量：

在仿真中精确呈现电机的高动态特性，要求运算周围为几微秒的时间。这项工作将由 FPGA 完成，它具有高速并行处理和低 I/O 延迟的特征。XSG 电气元件库的仿真模

型专门为 FPGA 而设计，可以利用该技术获得高性能仿真。XSG 模型库提供了可直接使用的组件，例如电机模型、编码器、滤波器等等。FPGA 的信号通过电子负载实现功率级的仿真。这个步骤将由切换频率高达 3.2 MHz 的级联切换的 MOSFET 模块完成，从而保证电机电流的高度动态仿真。

>>

“dSPACE 提供的极快速 FPGA 计算平台和 XSG 电气元件模型满足我们对电动机精确仿真的要求。”

KATECH 的 Raecheong Kang

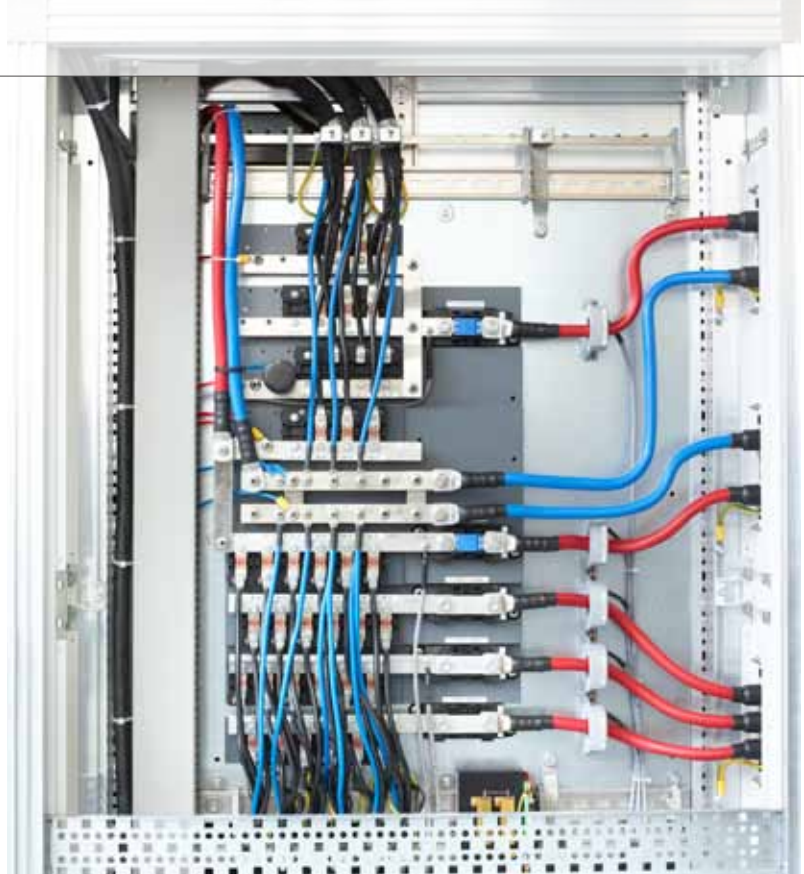


## 韩国汽车技术研究院

韩国汽车技术研究院 (KATECH) 成立于 1990 年，在韩国贸易、工业和能源部 (MOTIE) 权威颁布的《产业技术创新促进法》的基础上建立。研究院为区域汽车零部件行业提供支持，尤其是中小型企业。为了促进持续增长，研究院支持研究和可靠性测试，并提供技术设施和人力资源。

## 致谢

在韩国 MOTIE 出资赞助的基本技术工业基础设施项目 (M0000022) 下，该项目得到了充分履行。



仿真器内的线路。内置线路横截面显示了需要处理的高电流。

### ■ 灵活性：

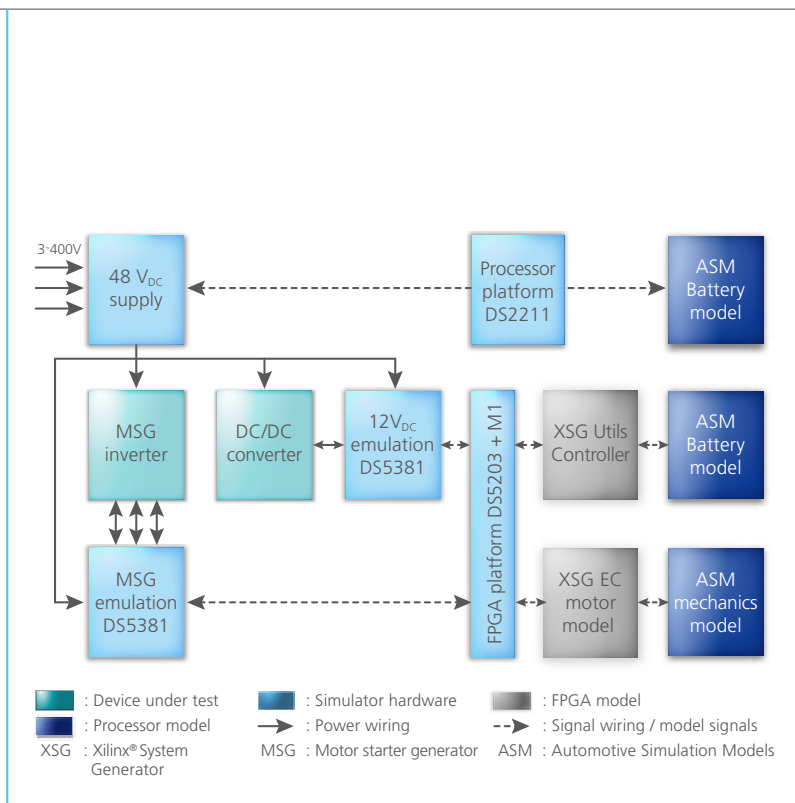
基于 dSPACE FPGA 平台和电子负载单元的直接电流注入特性，电机的高动态性得以呈现，可模拟各种不同电机的电感特性。无需借助其他无源元件，仅仅通过并行连接负载模块就可以轻松增加最大可模拟相位电流。总体而言，这将允许在相同系统中测试具有不同设计和不同参数的电机。

### 评估测试系统

借助 dSPACE 仿真器及其包含的电子负载模块，dSPACE 为 KATECH 提供了一个测试系统，可以轻松并可靠地验证不同供应商和集成的 MSG 控制单元。测试人员可以借助该测试系统实现更高的测试深度，因为 ECU 在功率级操作且未经任何修改，同时还考虑到了系统相关的耦合（例如通过 12 伏车辆电气系统的反应）。仿真质量和系统的可靠性已经在实际应用

“dSPACE 仿真器与电子负载模块配合使用，对验证轻度混合动力的电子控制单元 (ECU) 至关重要。”

KATECH 的 Kiyun Jeong



被测设备 (DUT) 和仿真组件的仿真环境设置。

## 结束语

新型 48 伏供电系统采用起动机/发电机技术，是有效的低成本高效率混合动力的基础。KATECH 为韩国汽车工业及其供应商提供测试设备和在功率级验证发动机 ECU 的专业技术。为了仿真发动机，KATECH 采用了 dSPACE 的高动态负载、模型和仿真器。该仿真系统可以可靠地验证 ECU、逆变器和直流/交流转换器。借助操作范围为 250/550 安的高动态 HIL 组件，该系统可以在功率级验证轻度混合动力现代 ECU 的功能性。

中得到了证明。与机械测试平台等其他替代方法相比，功率级的仿真有着显著优势，因为仿真器无需准备时间即可完成机柜的调整。该系统无移动或旋转部件，因此无需昂贵的结构性保护措施便可以在实验室内进行操作。仿真器极其受欢迎的原因之一在于：只需轻松按下一个按钮或更换模型便可用于新待测设备的测试。■

韩国汽车技术研究院 (KATECH) 的 Kiyun Jeong 和 Raecheong Kang

### Kiyun Jeong

Kiyun Jeong 是韩国忠南 KATECH 智能控制系统研究中心主任。



### Raecheong Kang

Raecheong Kang 是韩国忠南 KATECH 智能控制系统研究中心负责 HIL 仿真器建模和操作的高级研究员。

