

HIL 仿真测试系统在汽车电子领域的应用与研究

张永光

杭州迪为科技有限公司 浙江杭州 310000

【摘要】汽车电子领域正经历着快速的创新与变革，高级驾驶辅助系统、自动驾驶技术以及车联网应用的日益普及，对车辆的智能化和安全性提出了更高的要求。在这一背景下，硬件在环（HIL）仿真测试系统的重要性日益凸显。通过HIL仿真，工程师能够及早发现并解决潜在的设计缺陷，确保汽车电子系统的可靠性和稳定性，并最终提升车辆的整体性能和用户体验。基于此，本文主要论述了HIL仿真测试流程和汽车HIL仿真测试系统的作用与意义，并给出了其在汽车电子领域的具体应用，为相关企业提供参考。

【关键词】HIL仿真测试系统；汽车电子领域；应用与研究

Application and research of HIL simulation test system in automotive electronics field

Zhang Yongguang

Hangzhou Diwei Technology Co., LTD. Zhejiang Hangzhou 310000

【Abstract】The automotive electronics industry is experiencing rapid innovation and transformation. The increasing prevalence of advanced driver assistance systems, autonomous driving technologies, and connected vehicle applications has raised the bar for vehicle intelligence and safety. In this context, the importance of hardware-in-the-loop (HIL) simulation testing systems has become increasingly evident. Through HIL simulations, engineers can identify and address potential design flaws early on, ensuring the reliability and stability of automotive electronic systems, and ultimately enhancing the overall performance and user experience of vehicles. This article primarily discusses the HIL simulation testing process and the role and significance of automotive HIL simulation testing systems, and provides specific applications in the automotive electronics field, serving as a reference for relevant enterprises.

【Key words】HIL simulation test system; automotive electronics field; application and research

汽车电子系统日益复杂且安全性要求严苛，传统的实车测试方法在效率、成本及极端工况覆盖性方面存在显著局限。因此，深入研究 HIL 仿真测试系统的架构优化、模型精度提升、测试自动化及其在新型电子电气架构下的应用，对推动汽车电子技术创新与产业升级具有重要实践价值。

一、HIL 测试技术概述

硬件在环测试（HIL）是汽车电子控制系统开发与验证中的关键技术手段。该技术通过将真实的电子控制单元（ECU）、传感器、执行器等硬件组件，与基于精确数学模型的仿真环境（包含车辆动力学模型、被控对象模型及道路环境模型）进行实时闭环连接，构建一个高度逼真的虚拟运行平台；在此平台上，ECU 如同在实际车辆中运行，接收

仿真模型生成的传感器信号，并驱动仿真环境中的虚拟执行机构。其核心价值在于能在实验室环境中安全、高效、可控地完成对 ECU 功能逻辑、控制算法、网络通信及故障诊断等全方位的测试验证，尤其适用于实车测试难以覆盖或存在高风险的极端工况与故障场景。该技术的显著优势包括：显著提升测试安全性，避免实车测试风险；大幅提高测试效率与覆盖率，支持极限工况复现；降低开发成本与周期，支持软硬件并行开发；增强测试的可重复性与可控性，为功能安全与可靠性验证提供坚实基础。

二、HIL 仿真测试流程

HIL 仿真检测是汽车电子控制系统开发时非常关键的一环，它包含许多核心步骤，从而全方位地验证系统的性

能。首先要完成系统架构设计以及被控对象建模,按照实际电子控制系统的技术需求,把把控制器的控制对象进行软硬件解耦、模块化分离,电气特性通过IO硬件板卡进行模型,再借助专业工具把被控对象行为变成可执行的数学模型,共同运行于HIL的实时系统中,从而搭建完整的闭环的虚拟仿真平台。借助专业工具把控制逻辑变成可执行的模型,再把该模型无缝地融入到HIL仿真系统框架当中,从而为后续检测创建起虚拟控制平台。

硬件结合环节重点在于达成实际硬件同仿真环境之间的物理对接,把ECU,传感器,执行器这些真实器件经由专用接口与仿真器相连接,从而创建起虚实关联的检测回路。此过程中要保证接口协议相互适配,信号传递也要稳定,这样才能为模拟信号在虚拟环境和真实硬件之间实施双向交互形成基础。

在信号采集与仿真的阶段中,利用仿真器件来模拟各种实际运行的场景,其中涉及温度,压力,车速等环境参数的动态改变情况,从而产生出符合实际工况的模拟信号序列。前期已创建好的硬件接口会及时把这些信号传给待测电子控制系统,这样就能精确再现各种操作环境中的信号激发情况,进而给系统运行给予较为真实的外部条件。

系统运行与检测环节要依托前面所说内容执行立体度验证,经由设置不同的工作条件,加载多种控制算法模型,注入各种故障场景等手段,来对汽车电子控制系统实施全工况模拟运行。测试期间会同时收集系统响应的数据,并借助专业的分析工具来考量系统在性能指标,控制精度以及故障容错等方面的状况,按照数据反馈有针对性地改良系统设计,创建起“检测-分析-改进”的循环开发流程,从而保证电子控制系统在实际应用时具备稳定性和可靠性。

三、汽车HIL仿真测试系统的作用与意义

(一) 提高汽车研发效率和质量

HIL仿真检测系统借助高精度模仿整车电气环境以及复杂驾驶工况,对电子控制单元(ECU)硬件执行闭合回路验证,显著提高了汽车研发的效率与质量。在效率优化上,此系统使开发人员可在实际车辆样件投入使用之前就针对ECU开展功能与性能的全方位检测,极大地缩减了依靠实物样车的传统验证历时。它具备很强的实时仿真能力,可以支持多系统同步触发开展测试,推动不同ECU之

间的融合调试工作向前迈进,而且自动化的检测流程也削减了人工检测所花费的时间,让产品的开发更新速度有了质的提升。从质量保证角度看,HIL系统可精准再现诸如高速紧急制动,极端温湿度环境之类的极限驾驶状况,还有电网波动,传感器失效等故障工况,从而深入地考察系统是否稳定。故障注入机制能够预先显示硬件与软件融合时潜藏的问题,保证ECU在实际环境里具备应有的功能可靠性以及安全余量,从而符合设计之初的预期。虚拟环境下的充分验证有效地缩减了实车路试阶段的设计返工次数,从根本上改进了整车电子系统的成熟程度及其交付质量,给汽车电子系统的可靠实现给予了关键技术支撑。

(二) 降低汽车研发成本

汽车HIL仿真测试系统对显著削减研发成本具有关键作用。其核心价值在于建立高拟真度的整车电气环境,使工程师能在物理样车制造前充分验证电子控制单元的功能性能及其与整车系统的交互。这一先进虚拟验证手段有效降低了传统研发中问题滞后导致的高昂成本。通过在实验室精确复现各类极限工况与故障状态,系统可早期识别并修正设计缺陷和集成问题,规避了后期物理样车或量产阶段发现问题所需的大量返工、工程变更及生产延误开支。同时,该平台大幅降低了对实体车辆、专用试验场、海量传感器及相关耗材的需求,显著节约了物理测试资源投入。其良好的复用性与扩展性,使得针对不同配置、新功能或升级组件的测试验证无需重复构建基础环境,极大提升测试效率,进一步摊薄了单次验证成本。

四、HIL仿真测试系统在汽车电子领域的具体应用

(一) ECU验证与调试

HIL仿真测试系统在汽车电子领域是验证与调试电子控制单元(ECU)的关键工具。该系统通过高精度仿真模型与实时硬件接口,在实验室环境中构建出高度真实的车辆运行工况,为电子控制单元的功能正确性、性能参数达标性以及实时响应能力的严格验证提供了关键平台。工程师利用该平台能够模拟涵盖常规至复杂的驾驶情景,实时注入各类传感器信号与总线报文,同时精确采集ECU的输出响应,据此全面检验其各项功能逻辑是否严格符合设计规范。在调试与优化环节,HIL仿真测试系统发挥着不可替代的作用。其强大的实时交互能力允许工程师持续监控ECU的内部状态变量与输出信号特征值,并即时调整输入激励或系统参数。

这种闭环的、动态的测试方式极大加速了潜在问题和设计缺陷的定位与排查过程，显著提升了调试效率。

（二）整车系统集成测试

HIL 仿真测试系统在汽车电子领域的整车系统集成测试中发挥着不可替代的核心作用。该系统通过高精度实时仿真技术，构建包含动力总成、底盘控制、车身电子及高级驾驶辅助系统等在内的整车虚拟运行环境，能够全面模拟车辆在实际道路上面临的各种复杂工况，例如不同路面附着条件、极端气候环境以及多样化的驾驶操作模式。通过将真实的电子控制单元接入仿真闭环，HIL 系统可精确验证各子系统在信号级交互层面的协同工作性能，有效识别并解决因软硬件接口不匹配、通信协议冲突或资源竞争引发的兼容性问题，从而在物理样车集成前规避潜在的整车级功能故障。同时，该系统具备强大的故障注入与边界条件模拟能力，能够主动模拟各类部件老化与异常工况，使工程师能够在安全受控的环境下提前发现系统在极端或故障状态下的行为缺陷及潜在安全隐患。这种基于 HIL 的深度集成测试，显著提升了多系统交互逻辑的验证覆盖度与测试效率，为整车电子电气系统的功能安全性与运行可靠性提供了坚实的保障，是确保最终量产车型满足严苛设计要求的关键验证手段。

（三）虚拟道路场景下的验证

在汽车电子领域里，HIL 仿真检测系统十分关键，特别是在构建虚拟道路场景以验证智能驾驶系统方面。该系统可精准模拟许多复杂又极具挑战性的实际道路情况，比如不同条件下自动驾驶的行为，严重交通堵塞以及突然出现的紧急避险状况等。HIL 系统能够在实验室环境下重现这些虚拟道路场景，从而全面地对智能驾驶系统的即时环境感知能力，高速运算下的决策逻辑以及最终的执行控制性能开展循环检测与验证。经过诸多重复试验以及场景覆盖考察后，工程师可不断改良智能驾驶系统的核心算法与控制策略，有效地

改进该系统应对极端复杂场景时的稳健性，进而最大程度在虚拟环境里验证并保障智能驾驶系统在实际道路行驶过程中的功能安全性与操作可靠性。这种依靠高精度虚拟道路场景的 HIL 验证方法，有力推动了智能驾驶技术不断更新换代，并促使其向工程化方向迈进，明显提升了该项技术的成熟度水平。

五、HIL 仿真测试系统在汽车电子领域未来发展趋势

在未来的发展进程里，汽车电子领域的 HIL 仿真检测系统会同智能化，网联化技术深入融合起来，从而显著提升检测的广度与深度。这个系统会把人工智能同大数据分析结合得更为紧密，促使检测流程朝着高度自动化方向发展，让分析结果智能化，既能自动去执行复杂的检测用例，又可以智能地识别潜在的瑕疵并且预测系统的运行情况，从而极大地优化检测的效率以及问题追踪的能力。借助云平台技术，HIL（硬件在环）检测能够达成云端设置和远程协作，工程师可以随时访问检测资源，监测检测状态并共享结果，这样一来就打破了地域限制，改进了资源利用情况，做到了检测任务的灵活调度以及高效协同。为应对智能网联汽车的发展状况，系统需提升对于车路协同，远程升级以及网络安全这些新功能的仿真验证水平，保证车辆电子系统在复杂关联环境中具备可靠的性能和安全的特性。

总结

综上所述，HIL 仿真测试系统在汽车电子领域的应用，是一个不断发展和适应时代变化的过程。随着汽车智能化程度的不断提高，HIL 仿真还需不断适应新的技术挑战，以确保汽车电子系统的安全可靠运行。进一步加强 HIL 系统的研究与应用，无疑将为汽车电子产品的研发和质量保障提供更强大的技术支撑，助力汽车产业的创新发展。

参考文献

- [1]王启配，刘全周，李占旗.基于在环仿真的自动紧急制动系统测试方法[J].天津科技，2021.DOI：10.3969/j.issn.1006-8945.2021.07.027.
 - [2]何琪，夏佳磊，刘俊明.重卡 AMT 控制系统 HIL 仿真设计与应用研究[J].汽车电器，2024（7）：81-83.
 - [3]任勇 张文平 王涛 李小燕.基于车载以太网的 HIL 实时仿真测试平台的研究及应用[J].汽车电器，2024（1）：73-77.
- 作者简介：张永光，出生年月：1986 年 08 月，男，汉族，籍贯：安徽省宿州市，学历：硕士，职称：工程师，研究方向：汽车电子开发及仿真测试技术。