

电动汽车虚拟化验证:从系统到软件

作者

Kevin Brand

新思科技高级研发经理

序言

长期以来,道路车辆一直被认为是最具挑战性的发展项目之一。电气和机械部件之间的紧密交互以及高速/大功率运行的固有安全要求是必须满足的最基本方面。除此之外,物理环境也存在诸多挑战:温度和湿度范围、噪音、振动和部件老化。电动汽车(EV)的迅速崛起避免了一些问题,例如对高度易燃燃料的依赖,但随之而来的是大型电池组的危险高压和电流,导致可能出现热耗散和火灾的风险。这也带来了新的挑战。电动汽车的电子元件数量比内燃机要多很多,车辆所有元件之间的交互也包括EV特有的反馈回路。

在设计和验证过程中解决这些挑战至关重要。台架测试(也称为骡车)是一个劳动密集型且费用高昂的过程,因为注入现实的故障会损害或破坏物理原型,而且这个过程速度缓慢,要考虑上百甚至上千个潜在的故障类型。使用真实车辆进行验证显然非常危险,原因是在驾驶过程中,检测到的任何错误都可能导致人员伤亡。此外,在硅片制造或软件推出后检测到的任何电子错误都可能导致项目延误和成本严重超支,以至于无法“转化”成芯片。最后,由于组件的公差,控制器软件可能无法正确运行,导致后来的子系统故障和召回。

本白皮书提出了一种极具吸引力的替代方案:电动车的虚拟样机验证,可以完全通过仿真而验证完整的机电液热系统,包括其嵌入式软件。电动车的仿真模型是可执行规范,被认为是虚拟原型。此外,仿真允许对子系统拓扑的所有可能变体进行非扰式调查。关于组件差异和其他问题的实施问题可以及早发现并进行调查,这样可以在实际的硬件原型推出之前就可以进行改进。这缩短了开发时间,并有助于确保第一个硬件原型更加可靠。此外,由于许多验证测试和软/硬故障分析可以通过电动汽车的仿真模型来完成,因此可以缩短物理原型测试时间。这样做的好处是,电动汽车的设计和验证过程更快、更有效、更节省成本。

电动汽车的兴起

电动汽车的历史很有趣，因为许多早期的汽车设计都是依靠电力，而不是内燃机。随着发动机技术的成熟和汽油的广泛使用，内燃机车辆的更长续航成为其主要卖点。电动汽车在很大程度上成为业余爱好者和发烧友关心的领域，而在商用市场占比很小。近年来，形势发生了变化，燃料成本不断上涨、电池技术改进和对环境的关注都有助于推动人们对电动汽车的兴趣增加。尽管电动汽车在整个市场中的份额不大，但据预测，到2040年，全球每年生产的电动汽车将达到6000万辆。

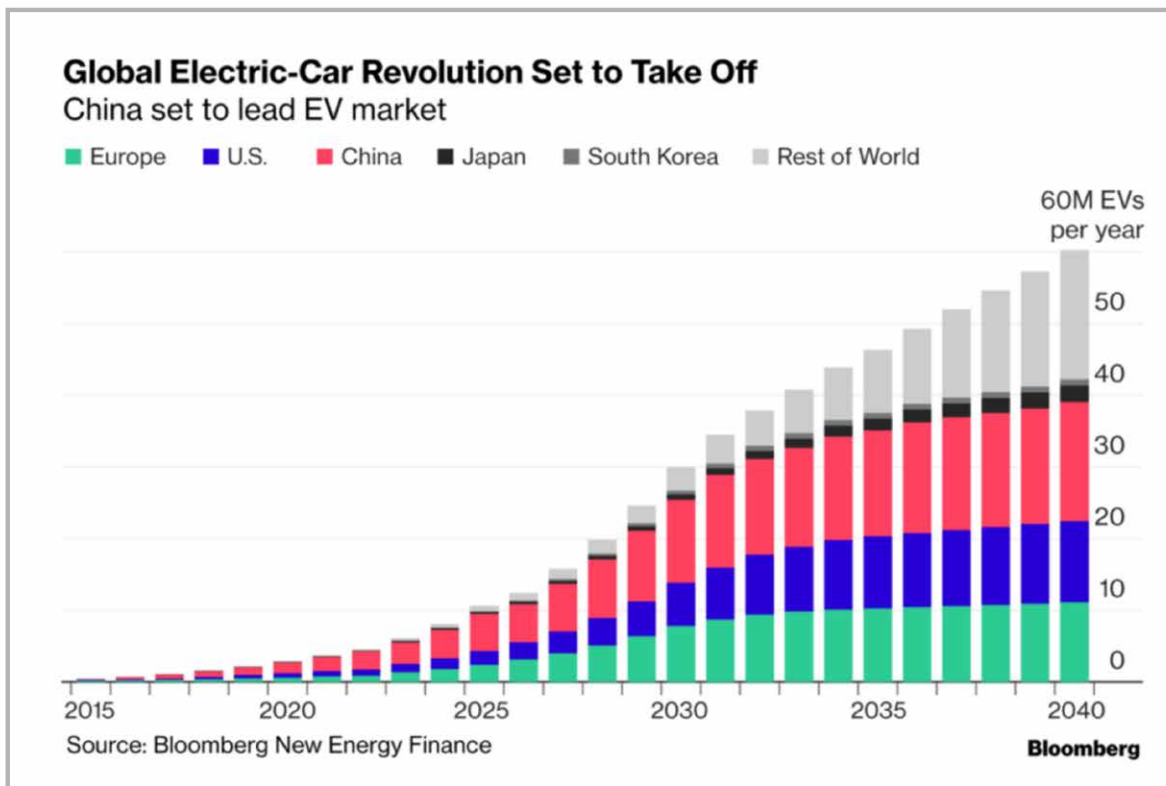


图1: 当前和预期的电动汽车增幅

目前，电动汽车市场上有许多竞争对手，包括许多传统的汽车制造商，要想在竞争中取得成功，主要是在车辆结构和设计中做出适当的权衡。对于车辆来说，特别是汽车，最明显的参数是性能，加速（通常以从0到60英里/小时的时间来衡量）和最高速度是衡量性能的两个主要指标。电动汽车曾经被认为速度缓慢，如今，一些顶级车型已经达到或者超过了内燃机汽车的指标。然而，普通驾驶者很少能够达到最大加速度或以接近最高速度驾车，除了“炫耀”性能，其他因素更有可能决定是否购买。

很明显，效率是其中一个因素。电动车制造商Lucid公司首席执行官兼首席技术官Peter Rawlinson对效率的定义为：车辆在一定速度下使用一定数量的电力（千瓦时）可以行驶的距离。在指定电池容量下，效率越高，车辆行驶的距离越远。效率和电池容量共同决定了两次充电之间的行驶距离，这是司机考虑从内燃机汽车换成全电动汽车（不采用混合动力或汽油辅助技术）的一个主要因素。“续航焦虑”是一个常见的行业术语，指的是担心电动汽车在到达充电站之前会耗尽电量。

与任何产品一样，成本也是一个考量因素。总有一些人认为钱不是问题，而且他们舍得为最大的性能或效率花钱。有些购买者必须根据成本权衡这些指标，包括最初的购买价格和最终的电池更换费用。电动汽车开发商必须在性能、效率/续航和成本之间做出适当的权衡，这样才能在目标市场上与竞争对手开展竞争时取得成功。这些权衡要素必须在开发过程中进行多次评估和迭代。与设计验证一样，台架测试或实际车辆的驾驶测试对于想要保持高竞争性的车企来说为时过晚。当然，大量的项目成本发生在开发过程中，因此，缩短开发和测试时间会使最终产品的利润更高，基于软件的虚拟样机也为此提供了解决方案。

电动汽车开发的挑战

在电动汽车的开发过程中,有许多方面必须考虑。如上所述,产品的差异化包括最大限度提高续航、性能和效率,同时使产品成本尽可能降低。开发成本和非经常性工程(NRE)费用也应通过高效的设计和验证流程而尽可能降低。解决系统级挑战对于安全可靠的产品最为重要,包括处理高度互连的子系统和通过充足的网络安全防止未经授权的访问。集成多个模块和子系统是一项复杂的任务,而来自不同供应链的硬件和软件组件使用情况更加复杂。许多供应商可能刚刚进入汽车领域,因此,他们必须具备与传统供应商相同的资质。电动汽车特有的一个开发挑战是电池管理,包括最大限度缩短充电时间以及散热和安全考量的适当处理。

电动车内部电气硬件的开发有其自身的挑战。这个过程从概念设计开始,使团队能够深化对新兴技术的研究,探索设计空间,以调查替代方案并作出前文所讨论的权衡。为设计选择实际电气元件涉及额外的性能与成本的分析 and 权衡。在进行台架测试之前,必须使用物理和电气元件模型进行尽可能多的验证和分析。由于采用昂贵的仪器复制台架测试环境的成本较高,以及仪器难以得到,必须尽量减少硬件在环(HIL)台架测试。

现代车辆(尤其是电动汽车)远非仅由硬件构成。每个电子控制单元(ECU)都是嵌入式系统,控制一个或多个电气系统或子系统。嵌入式系统的软件内容有其自己的一系列挑战。系统级验证和标定需付出大量的工作,特别是对于涉及多个ECU或单个ECU中有多个内核的功能。软件堆栈支持多种复杂的通信协议,包括CAN、LIN、以太网、SPI、FlexRay、I2C和PCI Express (PCIe)。此外,ISO 26262标准规定了安全机制,并验证系统在出现故障时能否正确响应。通过插入故障来测试硬件并不现实,虚拟样机可以使用软件模型进行安全验证。

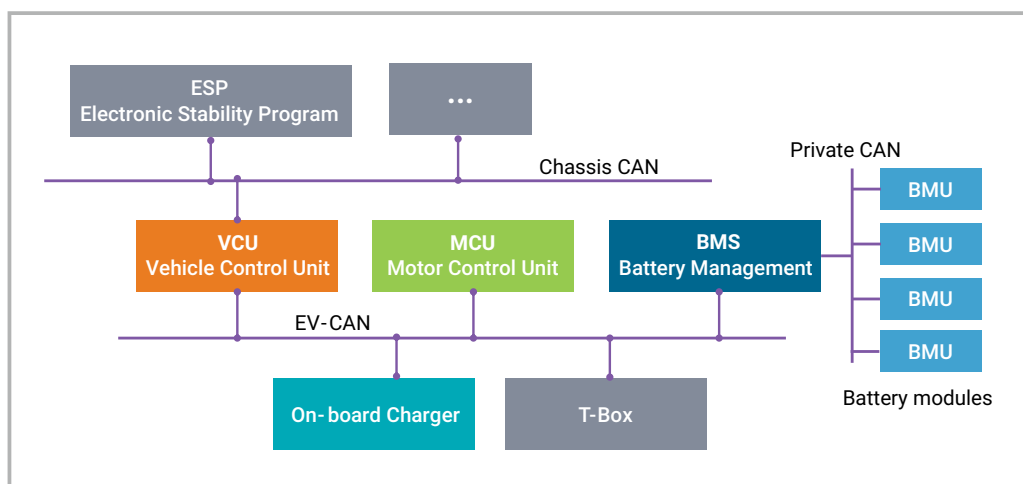


图2: 典型的涵盖多ECU的电动车网络

虚拟样机概述

从最基本的定义来讲,虚拟样机是一个系统级软件模型,通常由子系统和组件的多个模型组成,它可以模拟并复制物理系统的行为。在这个过程中,在构建任何物理样机或进行任何台架测试之前,可以在很大程度上对系统设计进行验证。这样能够最大限度地减少对实验室样机和工作台设备的需求,并进行故障注入和其他形式的验证(这可能对物理系统具有破坏性)。因为提供许多虚拟样机的副本更容易得多,成本也更低,因此,项目中更多的工程师可以从中受益。对于电动汽车的开发,受益者包括:

- 控制系统开发人员
- 应用软件开发人员
- 固件开发人员
- 电力电子工程师
- 电池管理系统开发人员
- 电机驱动工程师
- 可靠性工程师
- 功能安全工程师
- 标定工程师

如前文所述，电动汽车虚拟样机的好处不仅仅是验证系统行为是否符合预期。该模型还有助于系统级架构和整体设计过程，从而能够探索设计方案并评估性能、效率和成本之间的权衡。由于虚拟样机涵盖完整的机电设计流程，它可以对整个系统的真实响应进行建模，包括硬件/软件、环境影响，甚至是制造差异。统一的虚拟样机解决方案涵盖了从系统到软件的方方面面，包括：

- 通过开放、基于标准的形式与行业工具连接
- 涵盖多层抽象的模拟
- 高度抽象的概念研究
- 详细的电气响应和瞬态分析研究

新思科技解决方案

作为电子设计自动化(EDA)的行业领导者，新思科技拥有广泛的技术和产品，可以用来解决复杂的设计和验证挑战。为电动汽车设计和验证构建统一的虚拟样机，为此需要多种技术的组合，以涵盖从系统到软件的各个方面，包括机电元件和嵌入式软件与硬件元件之间的复杂交互。这种样机是由新思科技产品组成的生态工具链，其中包括SaberRD、Silver、Virtualizer™和TestWeaver®。图3显示了一个典型的电动汽车产品，自下而上显示出机械硬件和驱动设备所需的电气和功率电子元件，以及在微控制器上运行的典型AUTOSAR应用软件堆栈。

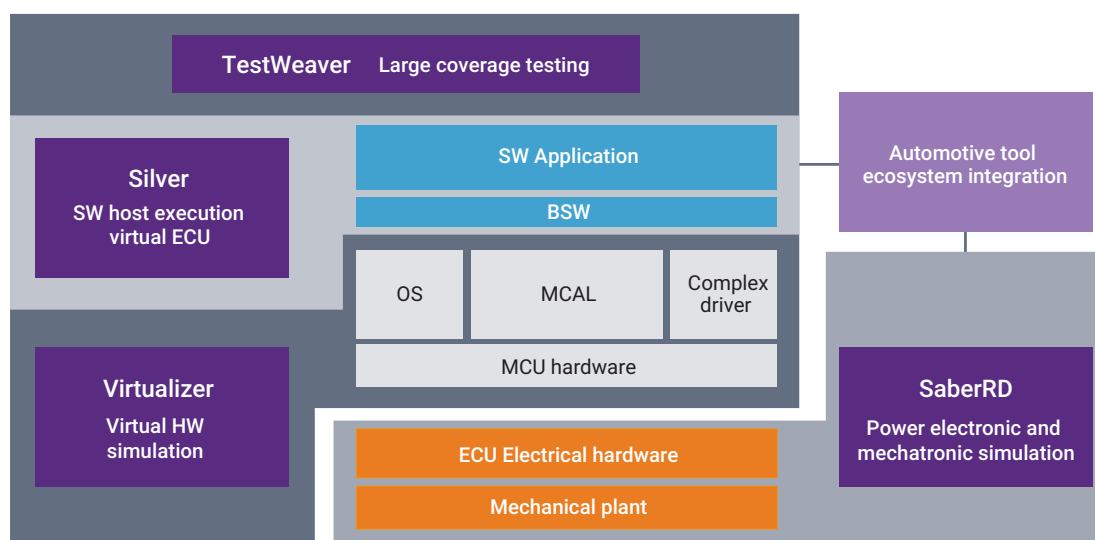


图3: 新思科技电动汽车虚拟样机解决方案

新思科技Saber™是一个经过验证的物理系统设计、建模和仿真平台，能够为模拟/电力电子、发电/变电/配电以及系统/布线/线束设计和机电一体化领域的应用实现全系统虚拟样机测试。SaberRD提供了全面的机电仿真，同时以不同的抽象等级对广泛的组件类型进行建模。抽象等级包括从用于极快执行架构研究的高级架构模型(MIL)，到模仿实际组件物理属性的详细行为模型。新思科技提供了业界领先的电气模型数据库，以支持详细的瞬态分析和效率优化。

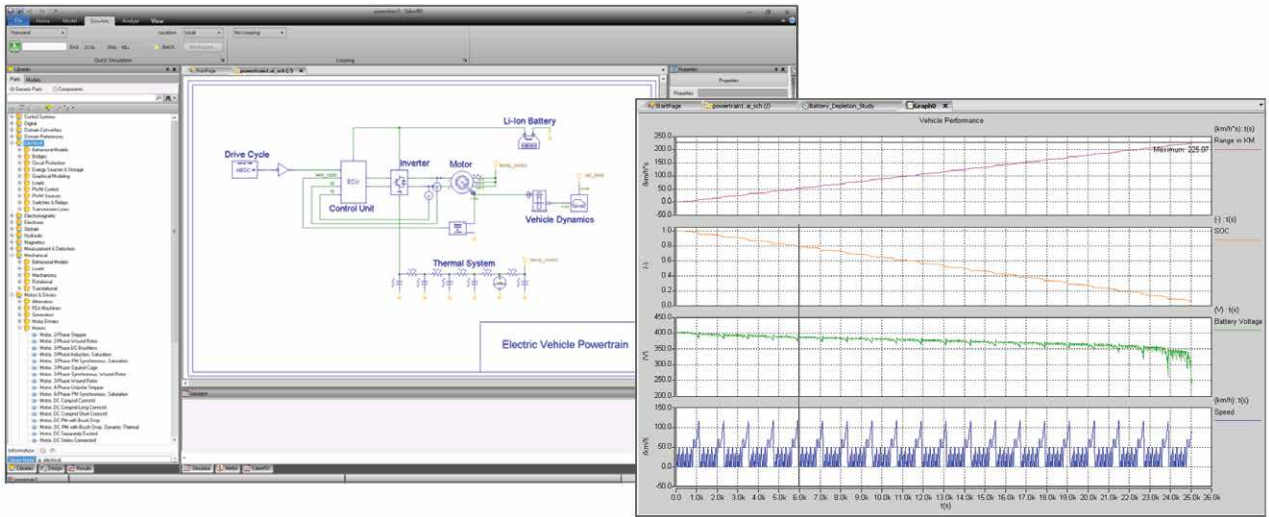


图4: SaberRD详细机电分析

SaberRD可以为多种电动汽车研究提供准确的结果，例如使用行驶工况捕获驾驶员操作和车辆运行情况。行驶工况按多个国家 and 组织设计，用于评估车辆性能。对于城市驾驶、高速公路驾驶和乡村驾驶，行驶工况有很大不同。此外，部分或完全自动驾驶车辆行驶工况与人类驾驶员的行驶工况不同。利用这些差异，电动汽车开发商可以针对目标用户最常见的驾驶模式优化产品设计。

SaberRD提供了一个最先进的功能安全解决方案，通过根据ISO 26262标准进行故障影响分析，以满足功能安全的基本要求。工程师可以调查数千种故障影响和故障缓解现象，节省物理样机的费用，并处理无法在台架测试中调查的故障类型。通过自动分析和结果验证，可实现全面的故障影响覆盖，并提高故障影响模拟的效率。这样有助于安全机制的开发和验证，同时建立设计耐受组件公差、温度系数、老化、参数漂移和应力变化的信心。

为了解决软件开发的执行问题，开发人员可以利用虚拟硬件模型(Virtualizer)或基于PC的仿真平台(Silver)。

新思科技Silver是一个虚拟ECU (vECU) 平台，用于将开发任务从路测和台架转移到Windows/Linux PC上，以实现ECU软件的高效在环(SIL)开发。工程师可以构建能够高度仿真真实控制器的虚拟ECU,虚拟ECU可以采用C代码或目标二进制文件建立。Silver也是一个强大的实验环境，通过仿真来验证和测试汽车网络中ECU、发动机、变速器和其他车辆部件的交互。Silver可以在PC上运行多种工具(包括通过标准化的FMI接口运行MATLAB/Simulink、新思科技Saber和其他多种工具)的仿真模型，而无需在执行环境中安装这些工具。

根据使用情况和源代码的可用性，ECU软件的不同部分可以被虚拟化并移植到PC上：只虚拟应用软件(ASW)，或者联合部分基础软件(BSW)一同虚拟。Silver配置可以快速复制拓展，使每位工程师都拥有一个人开发环境，而不会占用稀缺资源，例如HIL台架或测试车辆。

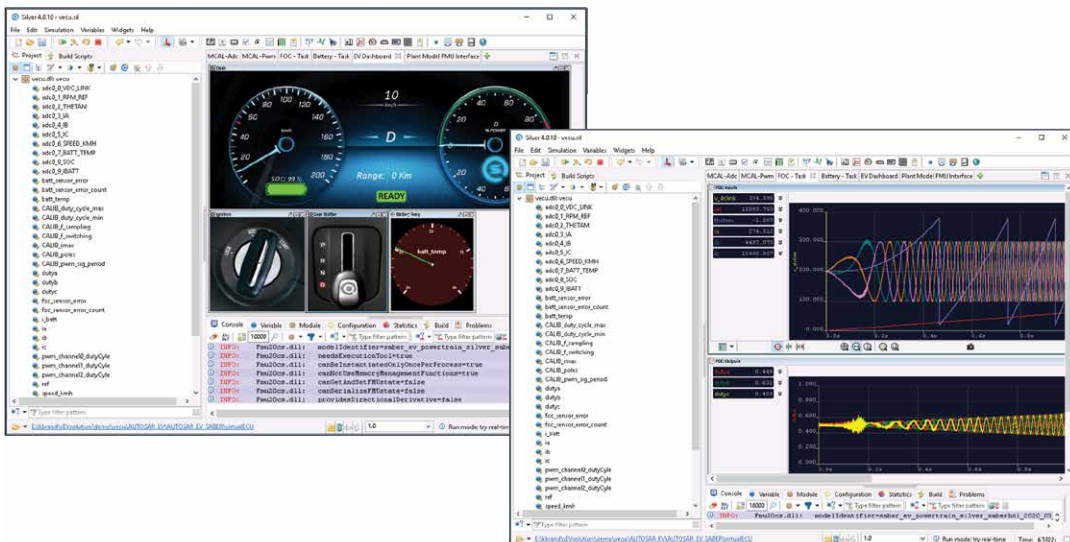


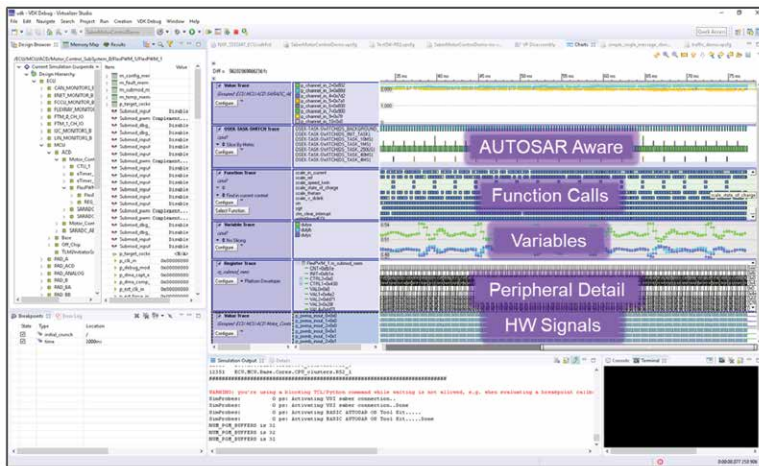
图5: Silver中的ECU行为总体视图

Silver会抽象ECU硬件，并重点关注软件和总线通信。将硬件抽象化会使软件和硬件的开发解耦，并减少配置和仿真的复杂性，也不再需要依赖硬件模型。

新思科技Virtualizer开发套件(VDK)模拟ECU硬件，包括处理器和板载外设。这些套件能够执行二进制软件堆栈，从而在操作系统和硬件/驱动程序层面上实现更多的用例。当开发人员需要通过观察软硬件行为来解决系统级问题，并对完整的软件堆栈验证感兴趣时，包括ASW、BSW、MCAL和驱动程序，VDK具有很多好处。新思科技Virtualizer为软件开发人员提供了以下功能：

- 全面的交互式硬件/软件调试可见性
- 与第三方软件调试程序集成
- 强大的系统级分析
- 通过Python脚本与虚拟样机交互
- 硬件和软件层面的故障注入

支持英飞凌、瑞萨、意法半导体和恩智浦等领先供应商的多个微控制器型号。



F图6: Virtualizer Studio嵌入式软件开发

新思科技TestWeaver是一个智能测试自动化解决方案，可创建和运行系统级测试，以检测错误，同时只需极少的配置工作即可实现最大的测试覆盖范围。功能需求可以采用简单而强大的需求建模语言(RML)而建模为系统恒量。RML模型由TestWeaver转换成C/C++代码，并以可执行的形式提供给仿真系统。TestWeaver使用自学习算法生成数千种测试场景，从而最大限度地提高以下各项测试的覆盖率：

- 硬件状态
- 软件状态
- 环境条件
- 驾驶员操作
- 参数公差
- 元件故障

数千项功能需求通过系统化的建模，在所有场景下被持续监测。监测条件的密度与应用测试的大覆盖率相结合，为复杂的电动汽车系统的验证提供了最佳方法。

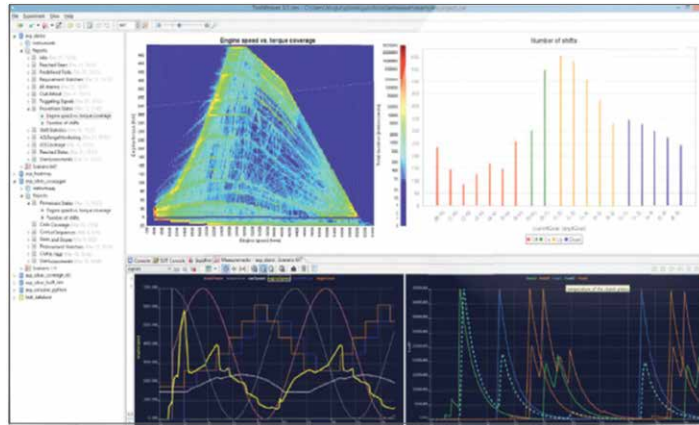


图7: TestWeaver的场景和覆盖范围视图

新思科技电动汽车虚拟样机测试流程

新思科技为电动汽车开发提供的统一虚拟样机解决方案支持硬件、软件和完整的系统。图8显示了使用新思科技解决方案的典型项目流程。该流程从产品需求开始，使用SaberRD进行整体、抽象的MIL研究。随着软件工程(SWE)融入该流程中，系统模型逐步完善，而Silver通过运行SIL仿真来开发ECU软件并测试EV组件之间的交互。随着软件的完善，并创建将在车辆中运行的生产代码，Virtualizer会运行实际的二进制文件，对系统行为进行高度精确且详细的vHIL模拟。

整个系统集成在一起后，会继续使用Virtualizer。Silver再次发挥作用，通过运行系统级测试而获得高水平的覆盖率，并使用TestWeaver创建测试，管理测试流程，并最大限度地提高覆盖率。如果没有TestWeaver提供的自动化，这个验证和确认(V&V)阶段将耗费大量人力，而且非常耗时。最后，SaberRD为电力电子提供了高保真的建模能力，并与软件控制集成，从而进一步完善验证和测试的最后步骤。

在新思科技流程中，SWE部分支持汽车SPICE® (ASPICE)流程参考模型和流程评估模型，特别是软件工程流程组的以下阶段：

- SWE.3—软件详细设计和单元构建
- SWE.4—软件单元验证
- SWE.5—软件集成与集成测试
- SWE.6—软件合格性测试

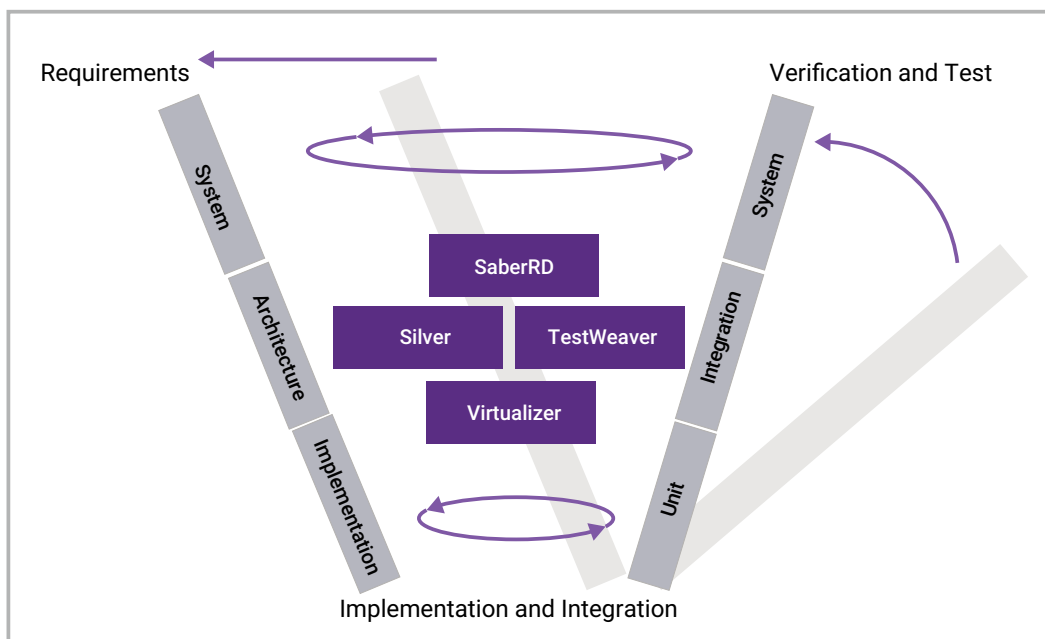


图8: 新思科技电动汽车虚拟样机测试流程

新思科技的流程为电动车团队提供了多项好处。在芯片、硬件或测试平台可用之前，他们可以在项目进度中更早开始设计和验证多个方面。更高的系统可见性能够加速软件调试和分析，从而缩短整体进程。该流程通过测试硬件中危险或不可能重现的故障和极端情况，从而开发更安全的车辆。虚拟样机可以扩展，很容易在服务器群中复制，这样可以增加测试吞吐量，或者支持更多用户。这些用户可以从世界的任何地方随时访问虚拟环境，而没有传统台架测试的访问限制。在快速发展和竞争激烈的电动汽车领域中，这些好处大大增加了产品的成功机会。新思科技解决方案提供了差异化的设计工具和技术，不仅能够应对从系统到软件流程的挑战，提供强大的电动汽车设计，同时加快了上市速度。

结论

电动汽车日益普及，并将在未来十年间占据更大的市场份额。车辆应用的机电系统开发始终具有挑战性，而电动汽车大大提高了门槛。物理样机的成本太高，无法让所有的工程师都能获得，此外，将设计和验证过程“左移”到项目周期的更早阶段也至关重要。本白皮书提出了一个经过验证的可用替代方案：采用基于新思科技多个行业领先产品的虚拟样机而创建的电动汽车开发流程。这个流程可以在构建任何硬件之前探索设计方案、评估多种权衡因素、开发嵌入式软件和多层验证。虚拟样机可以很容易地复制给所有项目工程师，使电动汽车的开发更加高效和可靠。

