

# Principais considerações para o teste HIL de powertrain

## Resumo

As considerações de custo, disponibilidade e segurança podem tornar inviável a realização de testes minuciosos de dispositivos embarcados de controle usando o sistema completo. A simulação hardware-in-the-loop (HIL) é uma técnica de teste de tempo real usada para testar esses dispositivos com mais eficiência. Durante o teste HIL, o sistema físico que faz interface com um dispositivo embarcado de controle é simulado em um hardware de tempo real, e as saídas do simulador simulam a saída real do sistema físico. O controlador embarcado “acredita” que é um sistema real. A simulação HIL testa meticulosamente os dispositivos embarcados de controle em um ambiente virtual antes de realizar os testes do mundo real do sistema completo. Esta nota técnica de aplicação abrange as melhores práticas para o teste HIL de powertrain.

Introdução ao teste HIL da ECU (Unidade de Controle Eletrônico) .....	2
O que é a simulação HIL? .....	2
Como aumentar a eficiência com a simulação HIL.....	2
Conceitos básicos do software de teste HIL.....	3
Fundamentos de simulação.....	4
Modelos de planta e fontes de modelo.....	4
Como garantir uma simulação precisa através do determinismo.....	5
Principais considerações para diferentes tipos de powertrains .....	5
Powertrains de combustão.....	5
Sistemas elétricos e híbridos de powertrain .....	9
Como maximizar a cobertura de teste.....	10
Como criar casos de teste.....	10
Segurança.....	10
Funcionalidade.....	12
Desempenho.....	13
Criação de requisitos, rastreabilidade e execução .....	13
A importância da rastreabilidade de requisitos.....	13
Automação de testes .....	14
Como selecionar o melhor sistema HIL para sua ECU.....	14
Abertura, escalabilidade e flexibilidade.....	14
A importância da flexibilidade do sistema de teste HIL.....	14
Suporte e serviços globais .....	15
Referências.....	16

## Introdução ao teste HIL da ECU (Unidade de Controle Eletrônico)

### O que é a simulação HIL?

Em um sistema de controle de malha fechada, o estado atual do sistema que está sendo controlado é enviado para o controlador através das medições do sensor. No caso de um automóvel, uma unidade de controle eletrônico (ECU) usa essas medições para determinar os valores adequados dos atuadores para atingir uma condição de operação desejada. Por exemplo, a ECU recebe informações sobre a posição do acelerador, velocidade do motor e níveis do oxigênio de exaustão para determinar os comandos adequados dos atuadores para que a posição do injetor de combustível, tempo de ignição e entrada de ar mantenham o máximo desempenho do motor e minimizem as emissões nocivas. Por fim, é necessário o teste físico de todo o sistema, e para isso os engenheiros podem usar a simulação HIL para testar meticulosamente a ECU e obter informações críticas sem ter um veículo completo ou até mesmo um motor.

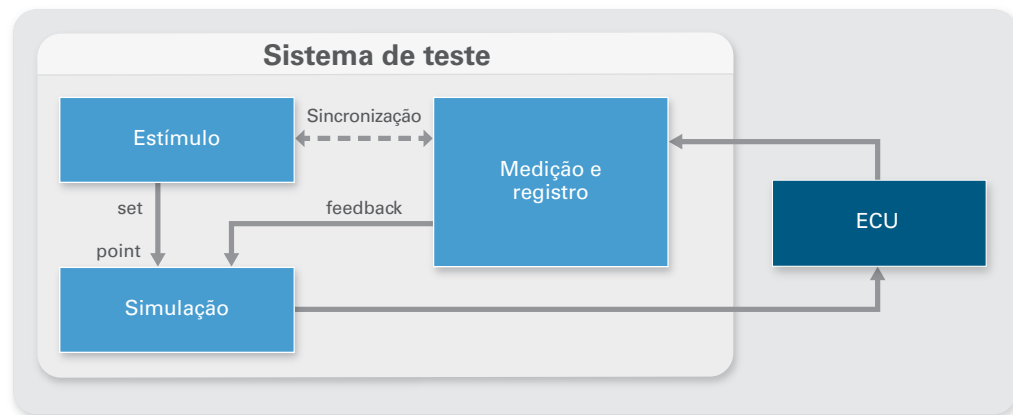


Figura 1. Um sistema de teste hardware-in-the-loop pode realizar diversas funções quando simula o mundo em torno de uma ECU

### Como aumentar a eficiência com a simulação HIL

A simulação HIL replica o sistema físico com o qual a ECU interage e executa funções do executivo de teste, como a geração de estímulo e o registro de dados do resultado do teste. A geração de estímulo de uma ECU pode criar uma sequência de diferentes velocidades desejadas do motor (para simular o pressionar do pedal do acelerador) e cargas do veículo (para representar uma variedade de condições nas estradas).

Todo o sistema é observado para garantir que todos os componentes operem corretamente, e os resultados do teste são registrados para serem comparados com as respostas ideais do sistema.

Embora a simulação HIL não substitua completamente a necessidade do teste físico, ela ajuda a reduzir o custo de teste e melhora a qualidade do produto ajudando você a:

- **Fazer testes no início do processo de desenvolvimento**—identifique os erros do projeto logo no início quando eles são menos dispendiosos para serem corrigidos e têm um impacto menor no tempo de lançamento no mercado.
- **Reduzir o custo do teste**—reduza o custo de capital investido, despesas de manutenção e reparo para suporte de testes sem a necessidade de um sistema físico.
- **Aumentar a cobertura de teste**—teste as ECUs sob condições extremas que podem não ser práticas para os testes físicos devido às questões de segurança ou danos nos equipamentos.
- **Aumentar a flexibilidade do teste**—amplie as capacidades do teste independentemente dos fatores externos (ex: simule as condições de uma estrada no inverno para um veículo sob teste mesmo sob o calor do verão).
- **Aumentar a repetibilidade do teste**—isole os defeitos em uma ECU mesmo que eles ocorram sob certas circunstâncias.

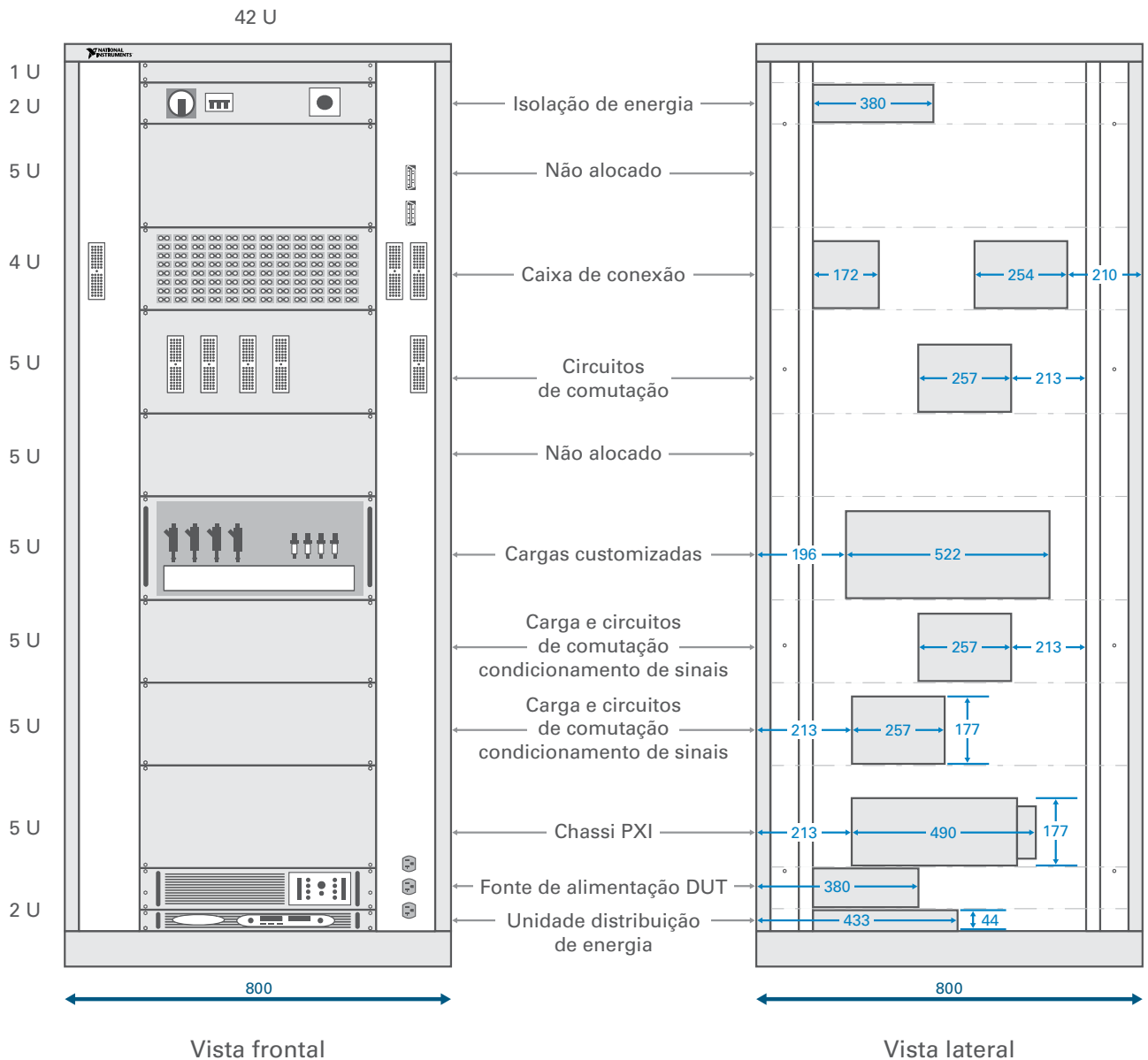


Figura 2. Sistema de teste HIL contendo muitos componentes comuns de hardware

## Conceitos básicos do software de teste HIL

A motivação fundamental para que as empresas adotem a simulação HIL é o aumento da eficiência operacional de seus processos de teste e desenvolvimento. As ferramentas de software e hardware usadas para a simulação HIL precisam permitir que os engenheiros se concentrem no teste das ECUs, e não na configuração, suporte e manutenção dos sistemas de teste. O software de teste HIL precisa equilibrar a facilidade de uso e flexibilidade para se adaptar aos novos requisitos. O valor de um sistema HIL é definido por quanto tempo ele economiza e quanto ele melhora o seu produto.

Em uma indústria com tempo extremamente restrito para lançamento de novos produtos no mercado, você precisa fazer seu primeiro teste o mais rápido possível. É preciso conectar rapidamente e com facilidade um modelo de simulação a dispositivos físicos de E/S e atualizar suas configurações quando os parâmetros da ECU forem modificados. Além de configurá-lo, seu sistema precisa permitir que você crie e execute perfis de teste para exercitar a ECU. Para dirigir o veículo virtual, é preciso que você possa oferecer padrões de sinais que representem as variáveis em ambientes reais que a ECU pode encontrar. Por exemplo, se você quiser fazer um teste de ciclo de condução da EPA, você precisará gerar os setpoints

de velocidade e condições da rodovia necessários para executar o teste. Você pode escolher entre diversas opções para gerar o perfil de teste, desde a programação tradicional e linguagens de script às exibições gráficas e reprodução de dados sofisticados. Os melhores métodos variam muitas vezes de acordo com os requisitos da ECU, e os sistemas de teste HIL precisam acomodar esses requisitos diferentes.

## Fundamentos da simulação

### Modelos de planta e fontes de modelo

Os modelos de simulação são amplamente utilizados nos testes HIL para “aparentar” que o dispositivo embarcado sob teste (DUT) está agindo como se estivesse controlando um sistema mecânico real. As ferramentas matemáticas são usadas para replicar o mundo real físico de um sistema mecânico, e os sinais gerados por essas ferramentas são enviados através de linhas elétricas e conectados ao DUT. Antigamente, a simulação física era um processo extremamente desafiador que exigia profundo conhecimento dos princípios matemáticos empíricos associados aos processos mecânicos, como dinâmica de fluidos, características de tensão e propriedades dos materiais.

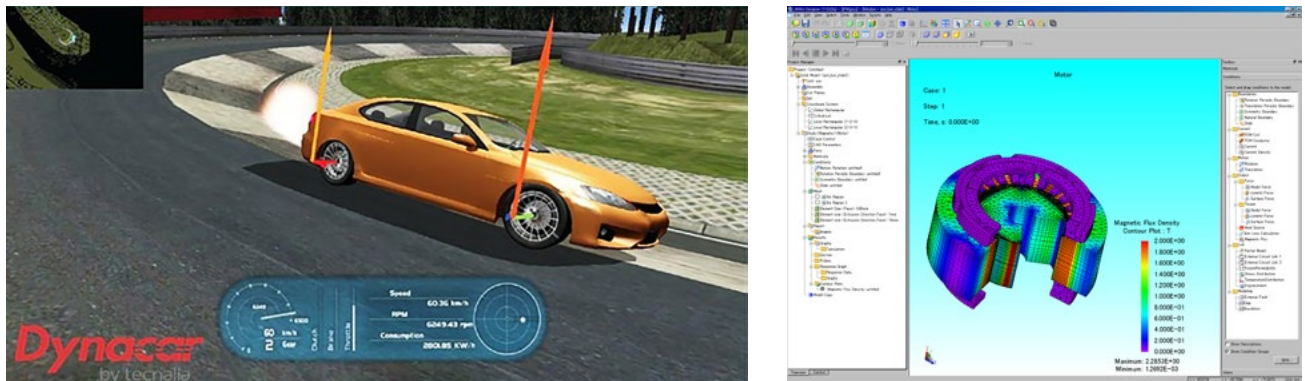


Figura 3. Diversos modelos de ambientes podem ser usados para garantir eficiência e eficácia do teste HIL

Hoje, você pode escolher entre várias ferramentas comerciais prontas para uso (COTS) para modelar sistemas físico e elétrico sem saber qual matemática subjacente foi usada para criá-los. Existem diversas ferramentas para simulação física, especialmente na área de teste automotivo HIL de powertrain. As ferramentas comuns de modelagem automotiva e seus principais usos incluem:

**GT-SUITE da Gamma Technology**—GT-SUITE é uma ferramenta de software de simulação com recursos e bibliotecas para uma variedade de aplicações da engenharia automotiva, que compreende desde uma rápida prova de conceito do projeto e detalhamento do sistema ou análise de componentes/subsistemas à otimização do projeto e investigações causa-raiz de uma falha. A arquitetura do GT-SUITE permite que você tenha a habilidade exclusiva de criar modelos integrados de sistemas, incluindo a integração entre os subsistemas que você estiver modelando, domínios físicos e níveis de modelos.

**BOOST e CRUISE da AVL**—BOOST é uma ferramenta completa de simulação mecânica virtual integrada com modelos avançados para prever com precisão o desempenho do motor, a acústica e a eficiência do gás de exaustão após o tratamento dos dispositivos. Ao utilizar essa ferramenta no desenvolvimento do seu motor, você pode oferecer a potência e o torque necessários para um determinado conceito de prova de um veículo juntamente a emissões otimizadas, consumo de combustível e conforto do passageiro (comportamento dos transientes e acústica).

CRUISE é uma ferramenta de simulação de sistemas para tarefas cotidianas na análise do driveline e do sistema do veículo durante todas as fases de desenvolvimento, do planejamento do conceito ao lançamento. O invólucro de sua aplicação abrange desde os powertrains dos veículos convencionais aos sistemas híbridos altamente avançados e veículos exclusivamente elétricos. O CRUISE oferece otimização dos parâmetros e combinação dos componentes, o que ajuda você a atingir soluções práticas e tangíveis.

**SimulationX da ITI**—O software padrão SimulationX avalia a interação de todos os componentes técnicos do sistema. Com bibliotecas prontas para uso para mecânica 1D, sistemas multicorpos 3D, transmissão, hidráulica, pneumática, termodinâmica, elétrica, condutores elétricos, magnética e controles, o SimulationX é a ferramenta CAE universal para modelar, simular e analisar efeitos físicos.

**CarSim da Mechanical Simulation Corp**—A ferramenta CarSim simula o comportamento dinâmico dos automóveis de passageiros, carros de corridas, caminhões ligeiros e veículos utilitários. Ela anima os testes simulados e apresenta mais de 800 variáveis calculadas para plotar, analisar ou exportar para outras opções de software, como o Excel.

### Como garantir uma simulação precisa através do determinismo

A eficácia do teste HIL depende do quão precisamente a simulação reflete o mundo ao redor da ECU. Os modelos de simulação precisam oferecer respostas matemáticas exatas para os comandos da ECU, e essas respostas devem ocorrer dentro de uma estrutura de tempo que seja consistente com o sistema mecânico em simulação. Por essa razão, a maioria das aplicações HIL precisa da execução determinística usando um sistema de tempo real. Você também pode usar um sistema de tempo real para executar sequências de teste de tempo real para obter informações valiosas sobre as funções e robustez da ECU. Se o sistema de tempo real puder representar deterministicamente o sistema mecânico com alta fidelidade, você também poderá calibrar os parâmetros da ECU para otimizar e ajustar o desempenho de todo o sistema de malha fechada. O desempenho do sistema de tempo real determina a quantidade de teste que você pode transferir do dinamômetro para o laboratório, que impacta diretamente no custo do teste e tempo para lançamento no mercado.

### Principais considerações para diferentes tipos de powertrains

Fazer o teste HIL nos módulos de controle do powertrain (PCMs) agrega novos requisitos para o sistema. Devido a sua natureza especializada, os PCMs contam com coprocessadores dedicados além de um microcontrolador genérico. Por exemplo, um PCM de um motor de combustão precisa tratar sinais de alta velocidade de motores específicos, como posição rotacional, knock, pressão do cilindro e controle preciso de atuadores. O teste do PCM exige um sistema de teste sofisticado correspondente capaz de estimular esses conjuntos de E/S e coprocessadores exclusivos. Assim, os sistemas de teste do PCM, do mesmo modo que as unidades sob teste, usam coprocessadores dedicados a oferecer sofisticação suficiente das E/S. Além disso, embora as empresas lancem continuamente novos produtos de software e hardware de PCM, os sistemas de teste normalmente são usados por muitos anos. Ter uma grande flexibilidade é um requisito fundamental do sistema de teste.

Hoje, os FPGAs são os dispositivos ideais para suprir essas necessidades. Seu alto desempenho e flexibilidade se adequam perfeitamente às rápidas mudanças das necessidades dos testes dos atuais sistemas avançados PCMs[3]. Os FPGAs oferecem vantagens significantes, como processamento paralelo, escalabilidade do projeto, tempo de resposta extremamente rápido, prolongamento da vida útil e portabilidade do projeto. Todos esses benefícios se traduzem em um sistema de teste poderoso e adaptativo. No entanto, a programação de FPGAs é tipicamente a função de um engenheiro especializado que é um recurso valioso e limitado. Porém, a disponibilidade do software de programação de FPGAs de alto nível e as bibliotecas de FPGA prontamente acessíveis aumentaram consideravelmente a viabilidade da implementação dos sistemas de teste baseados em FPGAs.

### Powertrains de combustão

Fundamentalmente, uma ECU de combustão é responsável por girar o motor. Para fazer isso, ela monitora a posição do motor através do feedback do sensor das rodas do codificador projetado cuidadosamente, como a roda da manivela ilustrada na figura 4, e ativa os injetores de combustível e as velas de ignição para gerar energia.

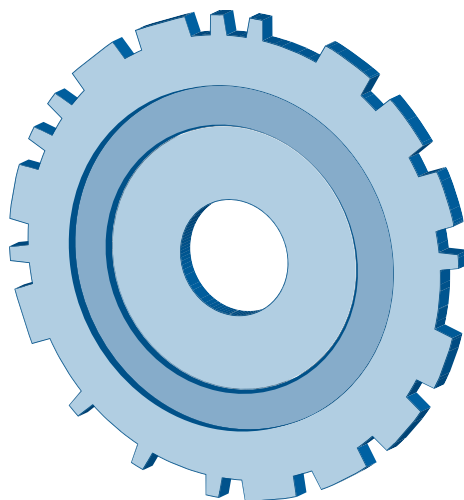


Figura 4. As rodas das manivelas atuais podem apresentar padrões complexos, como essa ilustrada que é exclusiva e evolutiva.

A principal responsabilidade de um testador HIL de ECU de combustão é a medição e geração desses sinais de combustão específica, além da medição das entradas do usuário, como os pedais. A tabela 1 mostra sinais típicos de uma ECU.

Nome	Tipo e direção dos sinais do testador	Descrição
Posição do pedal do acelerador (APP)	Saída analógica	Pedal do condutor
Fluxo de ar	Saída digital/analógica (depende do tipo de sensor)	Medição da massa de ar que entra no motor
Pressão do coletor de admissão (IMP)	Saída analógica	Afeta a densidade do ar
Temperatura do coletor de admissão (IMT)	Saída analógica	Afeta a densidade do ar
Pressão do combustível	Saída analógica	Afeta o combustível dispensado pela duração do acionamento do injetor
Manivela	Saída digital/analógica (depende do tipo de sensor)	Sinais de alta velocidade; informações da posição rotacional
Câmara	Saída digital/analógica (depende do tipo de sensor)	Sinais de alta velocidade; informações da posição rotacional
Lambda/O2	Saída analógica	Feedback da exaustão química
Knock	Saída analógica	Sinais de alta velocidade; feedback da exaustão do cilindro
Posição do acelerador	Saída analógica	Feedback de corpos do acelerador
Comando do acelerador	Saída digital PWM	Setpoint do acelerador da ECU
Ignição	Saída digital ou analógica	Sinais de alta velocidade; as bordas dos pulsos indicam o início da carga e local da descarga em relação à posição do motor
Injetor	Saída digital ou analógica	Sinais de alta velocidade; as bordas dos pulsos indicam a duração do início e fim do abastecimento em relação à posição do motor; pode ser diversos pulsos por cilindro por rotação

Tabela 1. Esses sinais comuns da ECU precisam ser considerados durante a criação do testador.

A figura 5 mostra o diagrama de blocos de um típico testador de ECU sem as cargas e os circuitos de comutação. O testador inclui um sistema operacional de tempo real em execução em uma CPU para executar uma modelagem de baixa (1 kHz) a média (10 kHz) velocidade. A CPU é utilizada com diferentes E/S como, analógica e digital, e comunicação de barramento para sinais de baixa a média velocidade atualizados sincronicamente para modelar a execução. Esses são os principais componentes de qualquer sistema de teste da ECU, mas para tratar especificamente o teste de combustão da ECU, é adicionado um coprocessador de FPGA colocando instâncias em uma unidade de processamento de ângulo (APU).

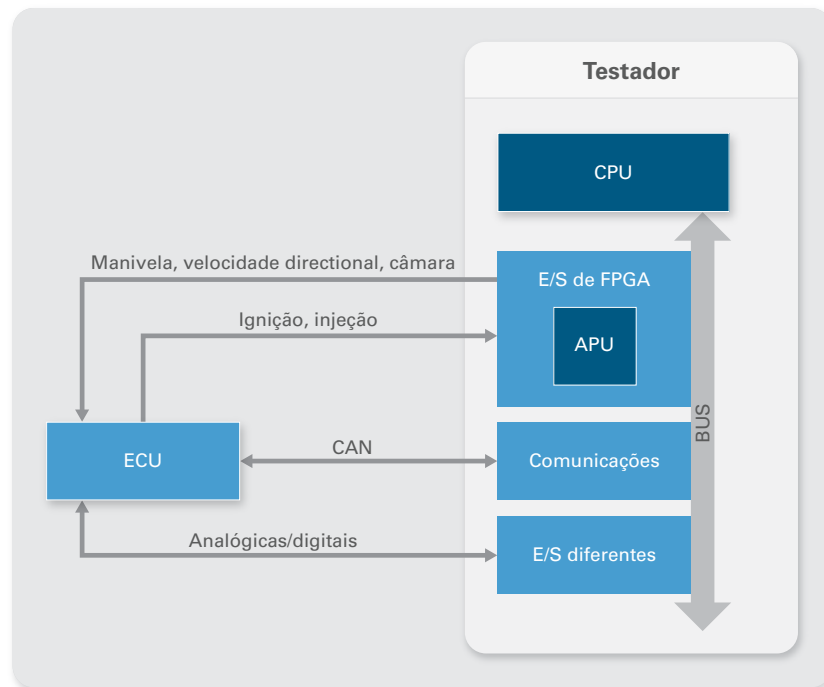


Figura 5. Diagrama de blocos típico do testador de ECU do motor mostra o coprocessador da APU instanciada em um FPGA.

Uma APU faz a simulação rotacional do motor em alta velocidade e com alta fidelidade. A simulação rotacional é o processo de aceitar o valor de entrada da velocidade e, ao longo do tempo, publica continuamente um valor de posições rotacionais simuladas entre 0 e 360 graus. Como as ECUs são programadas para controlar o motor em relação a sua posição rotacional, a verificação da ECU requer simulação de posições rotacionais no testador e que sejam feitas medições correlacionadas às posições rotacionais.

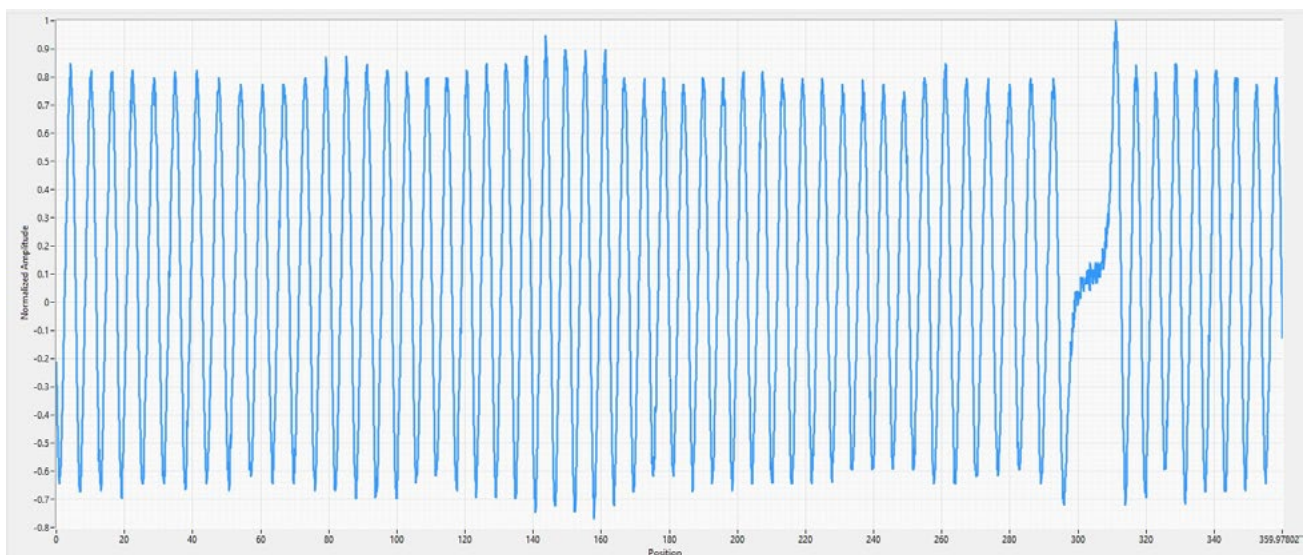


Figura 6. Sinais rotacionais de um sensor de relutância variável simulado.

Aliviar a simulação rotacional da CPU tem muitos benefícios. Primeiro, com um hardware dedicado, uma APU pode ser executada em velocidades muito altas sem interferência do sistema operacional de tempo real de alto nível, como um agendador de threads. Para chegar a 0.1 grau de resolução em 10,000 rpm, é preciso que uma simulação rotacional seja executada no mínimo de 600,000 Hz, o que é impraticável em uma CPU de uso geral.



Segundo, você pode executar a APU e a CPU assincronamente. Isso permite que a CPU execute modelos físicos de planta em intervalos regulares, o que funciona melhor para muitas modelagens de planta e conjuntos de ferramentas do sistema operacional de tempo real, enquanto extrai informações baseadas no ângulo do coprocessador de APU.

Por fim, ao colocar a APU próxima aos pinos das E/S, você pode ter uma conexão de baixa latência entre a simulação rotacional e os dados pertinentes para correlacionar com uma posição simulada. A latência entre quando um evento ocorreu e quando ele estava correlacionado a uma posição resulta diretamente em um erro de medição. Para evitar isso, coloque a APU dentro do mesmo FPGA das E/S.

A combinação dos sinais da ECU discutidos anteriormente, um coprocessador de APU em um FPGA e um modelo virtual de motor físico completa um testador HIL da ECU de malha fechada. A figura 7 mostra um diagrama do fluxo de dados nesse sistema usando cargas reais dos atuadores.

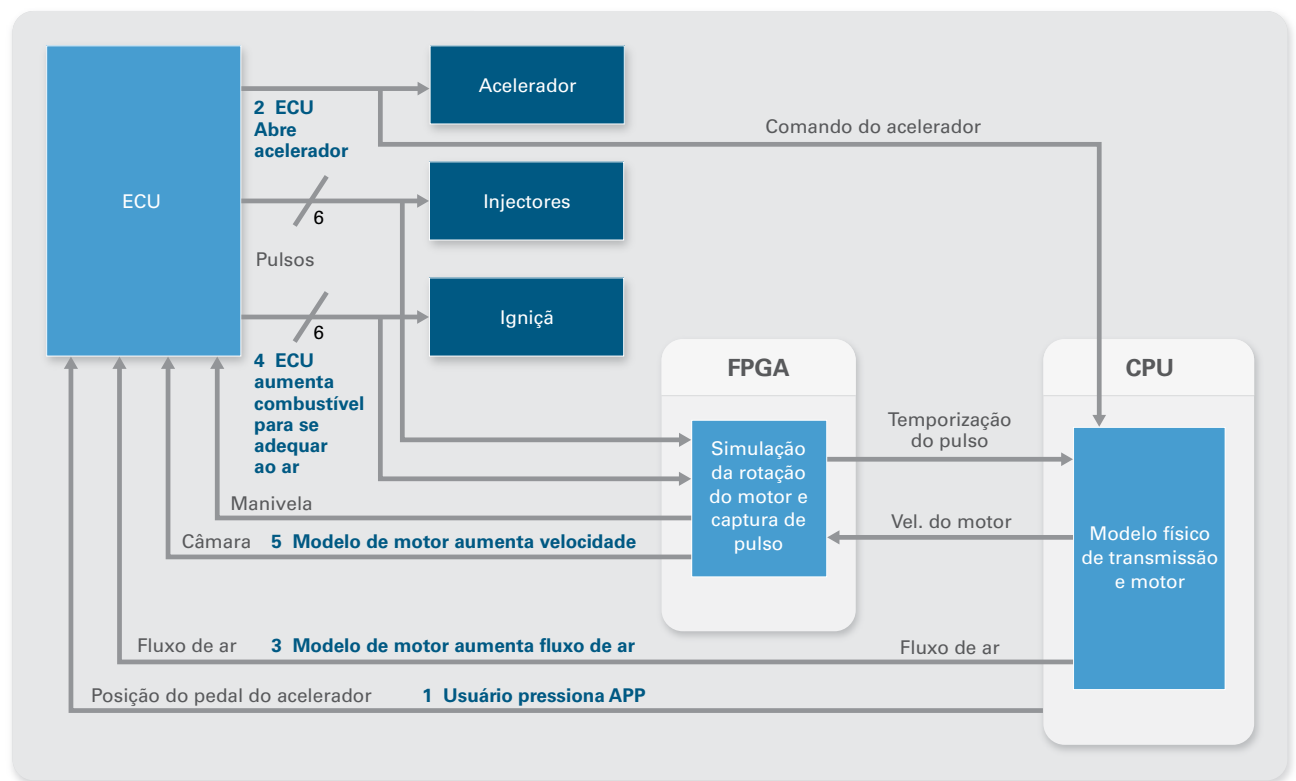


Figura 7. Fluxo de dados de malha fechada do HIL da ECU

Medir a atuação do injetor de combustível é outra consideração importante para o sistema HIL da ECU de um powertrain de combustão. Uma das melhores formas de fazer isso é incluir os atuadores reais dentro do sistema de teste do mesmo modo que eles são utilizados em um veículo. Passe os fios da ECU através de um sistema de condicionamento de sinais de medição de corrente em direção ao injetor e forneça a medição de corrente para o FPGA do sistema de teste. Isso permite que o FPGA meça a corrente que circula através do injetor para determinar quando o solenoide é considerado ligado ou desligado (figura 8).



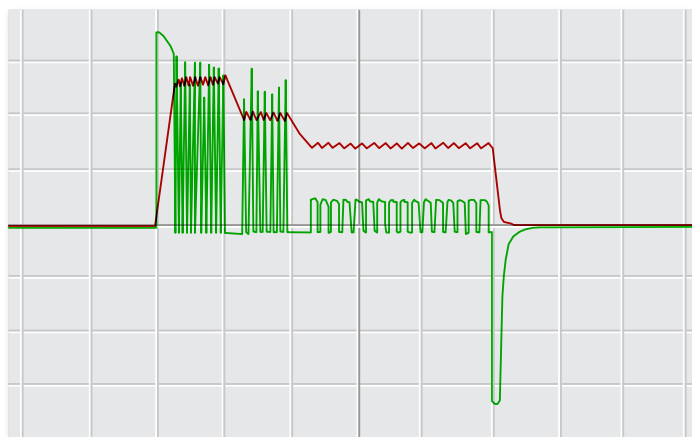


Figura 8. Traço de corrente e tensão de um injetor de combustível diesel destaca que a corrente precisa ser medida para captura de temporização exata

Para os injetores de gasolina, uma alternativa mais fácil é medir diretamente as saídas digitais da ECU para detectar quando os injetores recebem os comandos ligar e desligar. No entanto, medir a corrente através do injetor real apresenta mais exatidão porque ele exige certa quantidade de corrente de ativação para que o solenoide seja aberto. Além disso, a maioria das ECUs apresenta falhas de diagnóstico se as cargas reais não estiverem atribuídas às saídas de seus injetores.

### Sistemas elétricos e híbridos de powertrain

Em muitos sistemas elétricos ou híbridos de powertrain, a ECU tem que gerenciar a potência produzida por diversas fontes independentes. Por exemplo, um drivetrain híbrido inclui um ou mais motores elétricos acompanhados de um motor de combustão interna. Independentemente do tipo de drivetrain híbrido que você estiver utilizando, isso significa que a ECU precisa controlar, de modo seguro e reproduzível, duas plantas acopladas com dinâmica de velocidades potencialmente muito diferentes. Isso exige um teste abrangente para garantir controle da estabilidade do sistema.

Por exemplo, em um teste de direção no gelo, uma roda pode sofrer uma súbita perda de tração. Durante a aceleração, isso pode provocar um aumento drástico na velocidade do motor que precisará ser tratado de modo seguro. Entretanto, esse comportamento de segurança não pode ser reproduzido fisicamente em um dinamômetro, e em uma pista de testes, também seria difícil de ser reproduzido, além de exigir muito tempo. Precisamos desenvolver e verificar algoritmos complexos de controle para condições específicas de segurança como essa, testes que prevejam condições de operação em ambientes remotos e que satisfaçam o nível de qualidade necessário para um veículo em modelo de linha de produção.

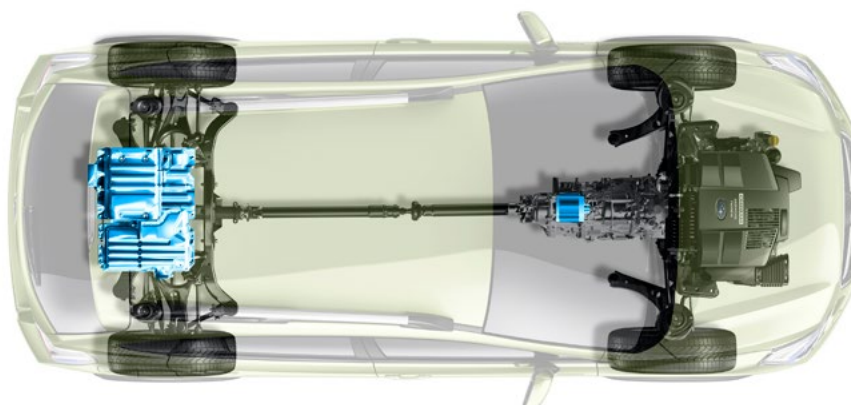


Ilustração fornecida pela FUJI Heavy Industries.

Figura 9. Sistema híbrido de powertrain apresenta novas considerações para o teste HIL

Ambos os drivetrains híbrido e elétrico acrescentam complexidade ao teste da ECU. Em cada caso, dirigir um motor elétrico exige que a ECU gere sinais PWM de alta velocidade para conduzir o hardware de eletrônica de potência. Para o sistema de teste HIL responder de forma exata a esses sinais digitais de alta velocidade de uma ECU sob teste, a simulação precisa ser operada em velocidades de loop muito rápidas na ordem de magnitude de 1  $\mu$ s. Para complicar, os motores elétricos exibem um comportamento não linear complexo, como saturação magnética e torque de engrenagem, que pode ser difícil de modelar diretamente. Você pode usar um modelo linear para testar uma ECU em relação às funções básicas, mas você também precisará modelar um comportamento mais complexo para fazer otimização, ajuste e testes mais rigorosos.

Os sistemas tradicionais de simulação, que não conseguem chegar a taxa de loop de 1  $\mu$ s, limitam os recursos de teste dos projetistas de sistemas de controle e os força a depender de um dinamômetro caro ou testes de campo. Nos casos como perda de tração, o teste de campo exigido para garantir segurança em todos os potenciais pontos operacionais pode ser extremamente dispendioso e até mesmo impossível. Entretanto, o aumento da fidelidade e velocidade da simulação ajuda você a conduzir mais testes de simulação repetidamente, o que reduz o tempo e o custo do nível de teste físico.

Chegar à faixa de 1  $\mu$ s para os períodos de simulação requer uma mudança de paradigma no projeto do motor elétrico e dos sistemas de teste HIL da eletrônica de potência. A principal abordagem para os sistemas de simulação em taxas tão altas é mudar dos sistemas HIL baseados em processador tradicionais para os simuladores baseados em FPGA.

Os sistemas HIL baseados em processador tradicionais oferecem máxima velocidade em torno de apenas 50 kHz porque um barramento de comunicação separa o processador e as E/S. Durante uma única etapa da simulação, as entradas são amostradas, os dados são transferidos para o processador, o resultado é transferido de volta para o nó de E/S e as saídas são atualizadas. Em um barramento PCI ou PXI, a latência da comunicação pode tipicamente levar três quartos de todo o período de simulação. Transferir os cálculos para um FPGA aumenta a velocidade do cálculo. No entanto, o maior aumento de velocidade parte de quando o nó de processamento e o nó de E/S são colocados em um único dispositivo para minimizar a latência da comunicação.

O próximo desafio que você enfrenta ao conduzir uma simulação de tempo real de drives de motores avançados é chegar a uma combinação adequada de simulação da fidelidade e velocidade. Enquanto um parâmetro constante simples ou um modelo linear podem ser suficientes para conduzir testes HIL funcionais, você muitas vezes precisa de aumento da fidelidade da simulação para fazer testes mais robustos e ter otimização de drives de motores avançados. Um modo eficaz de aumentar a fidelidade da simulação sem acrescentar complexidade ao cálculo é substituir os parâmetros modelos por tabelas lookup e atualizar esses parâmetros em todas as iterações da simulação.

Ao usar uma análise de elementos finitos ou tabelas derivadas experimentalmente, você pode simular um comportamento complexo não linear, como o torque de engrenagem ou saturação magnética, e projetar um controlador que responda apropriadamente ao fenômeno complexo. Em cada um desses casos, a tabela lookup captura o comportamento complexo sem modelá-lo diretamente na simulação.

## Como maximizar a cobertura de teste

### Como criar casos de teste

Desenvolver um plano de teste e casos de teste para uma ECU envolve estreita colaboração entre as equipes de teste e de projeto. A documentação dos requisitos de uma ECU é a principal etapa desse processo. Normalmente, esses requisitos podem ser organizados em três categorias de alto nível: segurança, funcionalidade e desempenho.

### Segurança

Durante o projeto do produto, um processo chamado análise dos efeitos e modo de falha (FMEA) é aplicado para identificar quantitativamente, as possíveis falhas e seus efeitos gerais no sistema. Desenvolvido no fim de 1940 por engenheiros de confiabilidade para os sistemas militares, o FMEA ainda é utilizado atualmente. Quando uma possível falha é identificada, ela é descrita em detalhes e recebe um valor de probabilidade, valor de gravidade e valor calculado de risco geral (o produto da probabilidade e gravidade). A tabela 2 mostra um exemplo de uma tabela de FMEA.

Descrição do componente ou subsistema	Modo de falha (risco)	Sintoma	Efeito	Probabilidade de falha	Gravidade do efeito	Índice de risco
Componente A	Conexão incorreta	Saída incorreta ou zero ou o motor só gira	Pode gerar uma falha no sistema ou danificar o dispositivo	D	III	III-D
	Curto circuito	Pinos soldados juntos	Pode gerar uma falha no sistema ou danificar o dispositivo	D	III	III-C
Componente B	Queima do fusível	Não há saída da placa para o motor	A placa não enviará sinais para o motor	C	IV	IV-E
	Terminais com defeito	Não há saída do terminal com defeito	A placa não enviará sinais para o motor	E	IV	IV-E

Tabela 2. Os engenheiros de projeto criam as tabelas de modo de falha e análise dos efeitos como pontos de partida para o caso eficiente do teste de segurança (Tabela fornecida pela Quanser)

Após finalizar o processo de FMEA, os engenheiros de projeto adicionam recursos para atenuar os itens de maior risco identificados. Por exemplo, eles podem acrescentar um sensor para detectar a falha de um componente mecânico, e o software pode então transitar automaticamente o veículo para o modo limp home para evitar mais danos. Testar essas mitigações é a principal parte da verificação e validação da FMEA. Para projetar casos de teste para cada item, você precisa obter a análise da árvore de falha (FTA) da equipe de projeto. A figura 10 mostra um exemplo de FTA.

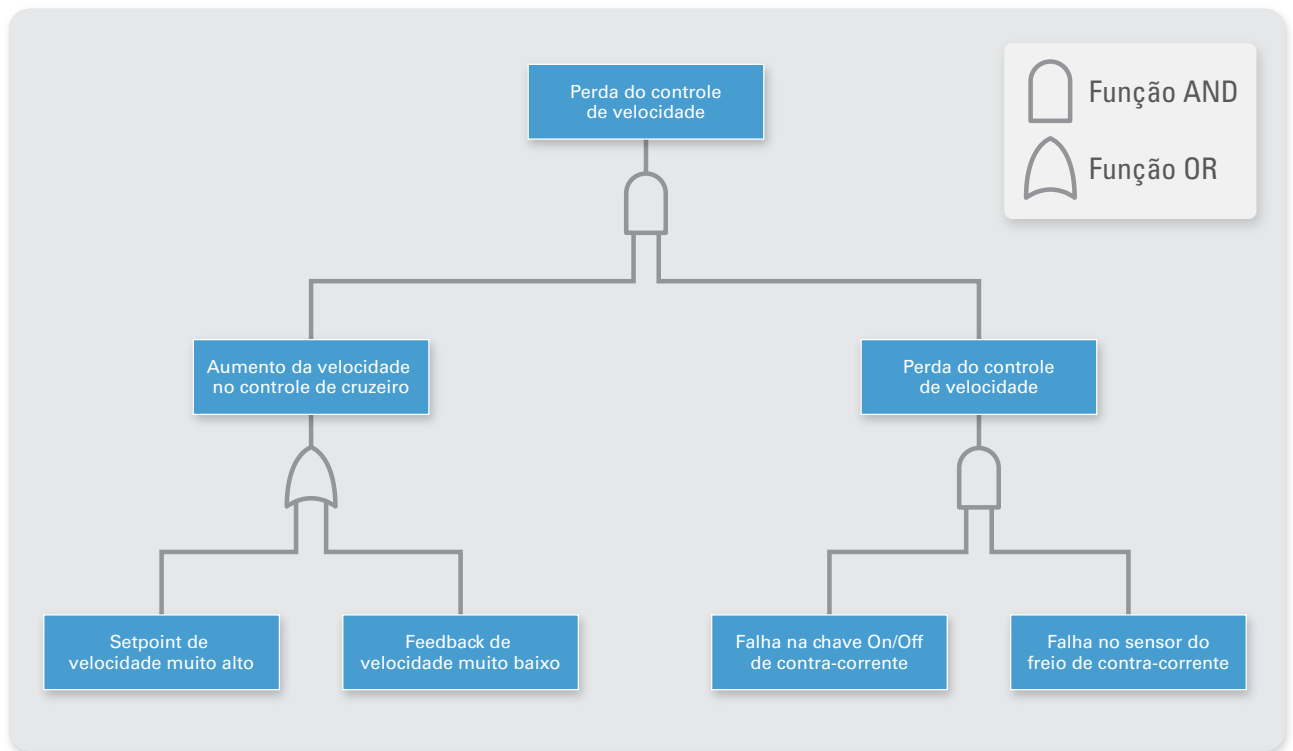


Figura 10. A análise da árvore de falha é um documento de referência importante ao criar casos de teste de segurança crítica

Ao usar a FTA como um fluxograma, você pode projetar casos de teste para cada item da FMEA de risco suficientemente alto (o limite “suficientemente alto” é definido pelo gerente de produto). Quando se considera o quão danosa algumas dessas falhas podem ser, a capacidade de testá-las na simulação HIL é um investimento muito bem aplicado.

Ao validar os requisitos de segurança, confira se o teste é preciso, principalmente para as indústrias regulamentadas como a automotiva e aeroespacial que impõem padrões de segurança funcional. Verificar algo incorretamente pode levar a consequências extremamente negativas quando o projeto estiver em produção e em uma situação de segurança crítica. Além disso, devido ao aumento geral na complexidade de eletrônicos, você tem mais coisas para testar ao mesmo tempo, o que produz a necessidade de automatizar algumas verificações. Mas como você sabe se as ferramentas de automação

de testes que você está usando estão funcionando adequadamente? O custo para desenvolver sua própria ferramenta de automação de teste pode ser bem alto, principalmente se você quiser garantir que ela seja projetada com segurança funcional. Além de tudo isso, você precisa de uma documentação completa e específica para validação geral. Criar essa documentação corretamente pode consumir muito tempo, então qualquer ferramenta que você utilizar precisa produzir os dados de forma adequada, o que leva a pressupor que a qualificação manual de ferramenta é única saída.

Usar ferramentas de verificação de uso comercial prontas para uso que são qualificadas para projetos de segurança funcional de formas específicas pode suprir essa necessidade e dar a você a confiança adequada na sua ferramenta de teste. O Alliance Partner CertTech da NI fez isso criando um kit de qualificação para a ferramenta de software de automação de testes da NI, o TestStand. O TestStand é um software de gerenciamento de testes pronto para o uso, projetado para ajudá-lo a desenvolver, executar e implementar sistemas automatizados de teste com maior rapidez. Devido à vasta experiência dos engenheiros do CertTech nas indústrias regulamentadas e com os padrões de segurança funcional, eles entendem os requisitos para usar ferramentas qualificadas especificadas por padrões como DO-178C e ISO 26262. O kit de qualificação para o TestStand oferece requisitos abrangentes e cobertura de teste para a maioria dos recursos comumente usados, um conjunto completo de testes que verificam os requisitos fornecidos, e uma ampla estrutura legível para que a cobertura possa ser ampliada conforme a necessidade. Além disso, o CertTech produz a documentação requerida da ferramenta utilizada como um artefato necessário para garantir a conformidade. Essa documentação é essencial porque o objetivo geral é que haja completa transparência para o processo de verificação para que o teste possa ser recriado. O CertTech pode reduzir o tempo necessário para produzir essa documentação em 95% usando um kit de qualificação.

Um dos padrões de segurança funcional mais recentes como o ISO 26262 e DO-178C exige que os projetos usem “ferramentas qualificadas” para atividades de verificação e validação que não serão revisadas manualmente, o que torna o uso de ferramentas qualificadas como o TestStand mais importante. Esses padrões exigem que você avalie o impacto geral da ferramenta que não testa adequadamente e depois avalie quais padrões como o ISO 26262 se aplicam ao Tool Confidence Level (TCL). Dois componentes principais determinam o TCL: Impacto da ferramenta (TI) e detecção de erro da ferramenta (TD). TI1 e TI2 são as duas classes do TI. TI1 é escolhido quando a ferramenta de mau funcionamento do software não pode violar um requisito seguro. Para todos os demais casos, TI2 é escolhido. Os níveis da TD variam entre TD1 e TD3. TD1 é escolhida se houver alto nível de confiabilidade de que um erro será detectado, TD2 e TD3 para médio e baixo nível, respectivamente. Os diferentes níveis do TCL para uma ferramenta de teste significam que o esforço extra imposto ao usuário é flutuante.

		Detecção de erro da ferramenta		
		TD1	TD2	TD3
Impacto da ferramenta	TI1	TCL1	TCL1	TCL1
	TI2	TCL1	TCL2	TCL3

Tabela 3. Os níveis de confiança da ferramenta no padrão ISO 26262 implicam em diferentes quantidades de trabalho em qualificar uma ferramenta

As ferramentas designadas pelo TCL2 oferecem o melhor valor para os usuários porque qualquer ferramenta com uma classificação TCL1 não tem um impacto significativo na segurança ou já tem um alto nível de confiança e não precisa de muita qualificação e documentação extra. Em contrapartida, uma ferramenta classificada como TCL3 gera um baixo nível de confiança, então precisará de algum tipo de qualificação manual, independentemente do que for.

## Funcionalidade

Em um alto nível, testar a funcionalidade da ECU é um processo simples. É muito fácil entender o teste dos recursos, no entanto os detalhes do software embarcado podem elucidar períodos ou transições potencialmente vulneráveis que precisam de um teste agressivo. Assim, conforme visto anteriormente, projetar testes funcionais depende de estreita colaboração com a equipe de projeto da ECU.

Os recursos de uma ECU específica podem depois ser combinados com o diagrama de estados para orientar a criação do caso de teste.

## Desempenho

Diferentemente dos casos de teste funcional, desenvolver testes baseados no desempenho sem a colaboração da equipe de projeto da ECU pode ser útil. O desenvolvimento desses testes deve na maioria das vezes ser implementado a partir da perspectiva do usuário. O que poderia ser aceito pela equipe de projeto pode ser inaceitável para um usuário, o que é um feedback importante de se capturar. Felizmente, algumas questões do desempenho baseado no usuário como milhas por galão (MPG) têm procedimentos de testes definidos federalmente que podem ser implementados como um caso de teste. A figura 11 mostra um gráfico da velocidade do veículo ao longo do tempo que deve ser seguido como um procedimento de teste federal para dirigir na cidade (FTP-75).

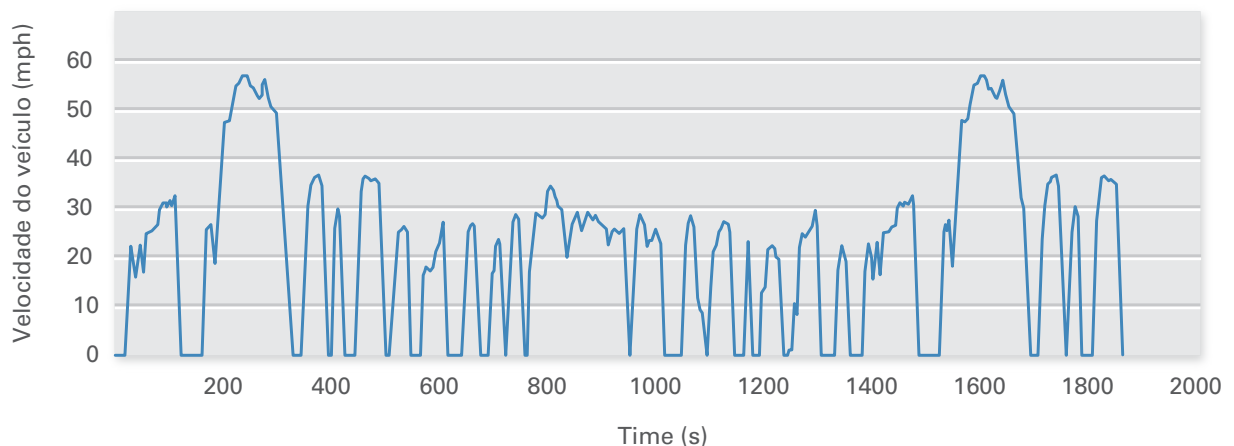


Figura 11. Os governos federais geralmente oferecem testes padronizados para desempenho de MPG do veículo, como esse ciclo de condução FTP-75

Outro teste baseado em desempenho é o de desempenho interno, como temporização da mensagem de barramento, utilização da CPU da ECU ou tempo de reposta do evento da ECU. Esses tipos de testes podem exigir recursos adicionais do testador, incluindo uma calibração da ECU ou um link de dados depurados para ler os parâmetros do processador e/ou ter a habilidade de fazer pós-processamento dos timestamps do registro de dados para verificar o comportamento da mensagem de barramento aceitável. Leia o artigo sobre a [correlação entre registros de dados no NI VeriStand](#) para obter um exemplo de como fazer essa análise com o software DIAdem.

## Criação de requisitos, rastreabilidade e execução

### A importância da rastreabilidade de requisitos

Para garantir a qualidade do software embarcado e a qualidade geral do software, foi demonstrado que você precisa poder rastrear os resultados baseado nos requisitos em todas as etapas do processo de desenvolvimento do software. Um processo comum de software inclui pesquisa, definição, desenvolvimento, teste e implementação. A rastreabilidade para estabelecer relações e analisar o impacto das modificações do software é um atributo comum do processo de desenvolvimento do software, principalmente em áreas onde o custo de uma falha é muito alto ou essa falha pode resultar em perdas de vidas.

Os projetos de software que não possuem rastreabilidade adequada de requisitos têm mostrado apresentar um aumento na quantidade de defeitos que impactam significativamente na confiabilidade e segurança do sistema. Fazer pequenas mudanças pode gerar um grande efeito cascata que levará a um produto final que não supre todos os requisitos conforme descritos no esclarecimento inicial do projeto.

As ações das agências reguladoras, orientadas principalmente por questões de segurança, ajudaram a criar uma multiplicidade de padrões, melhores práticas e ferramentas de software para gerenciamento de requisitos. Desse modo, a rastreabilidade pode determinar seu próximo projeto.

### Automação de testes

Os sistemas modernos de teste podem ser automatizados desde o nível mais alto ao instrumento de medição. Essa pode ser uma tarefa complexa que abrange diversas ferramentas de fornecedores diferentes e diversos sistemas operacionais, alguns dos quais precisam ser executados em um sistema HIL de tempo real. Verifique a compatibilidade com seu fornecedor de ferramentas para que você possa garanti-la já no início do processo. A automação de teste pode ser um fator determinante em garantir uma rastreabilidade econômica de requisitos.

Além de executar scripts de teste para dirigir o carro virtual, empresas visionárias fazem a automação e execução de teste um passo à frente usando uma estrutura de automação de teste. Com essas estruturas, você pode executar baterias de testes, fazer pós-processamento e análise nos dados de teste e gerar relatórios sem nenhuma interação de tempo real humana. Você simplesmente configura o sistema, e a execução do teste ocorre de forma independente. A automação de teste também permite que as equipes de engenheiros se comuniquem de modo eficaz ao vincular automaticamente os requisitos do produto e casos de teste aos resultados do teste. Isso dinamiza a eficiência operacional ao remover a comparação manual dos dados de teste dos requisitos.

Um objetivo de alto nível de uma equipe de teste de ECU deveria ser desenvolver uma biblioteca de casos de teste que ofereça cobertura de teste suficiente. Essa biblioteca é o principal elemento em gerar confiança na qualidade da ECU. Conforme a biblioteca de casos é expandida, ela pode ser automatizada e programada para ser executada durante a noite ou nos testes de regressão acionados por modificações no software. Relatórios de teste de regressão em tempo hábil podem evitar que um erro apresentado recentemente no software embarcado possa permanecer nele por semanas e se tornar progressivamente mais difícil de consertar.

## Como selecionar o melhor sistema HIL para sua ECU

### Abertura, escalabilidade e flexibilidade

Ao selecionar um sistema HIL, você precisa considerar primeiramente se deseja comprar os componentes e integrar o sistema você mesmo ou se prefere comprar um sistema turnkey. A maioria dos fornecedores de sistema turnkey não vende os componentes, mas os fornecedores de componentes fornecem sistemas turnkey através de parceiros.

Para comprar os componentes, você precisa ter uma equipe de engenharia que tenha perfeito conhecimento e domínio para integrar os componentes, e com isso, você terá mais controle sobre a expansão do sistema, além de criá-lo sob medida. Comprar um sistema turnkey supre essa carga de engenharia, mas você precisa garantir que o sistema atenderá suas necessidades atuais e futuras. Uma forma de garantir isso é adquirir uma plataforma “aberta” e “flexível”. Uma plataforma aberta suportada por diversos fornecedores oferece o melhor valor possível e protege seu investimento.

### A importância da flexibilidade do sistema de teste HIL

Você pode escolher entre várias opções para incorporar a simulação HIL em seu sistema de teste. Com o desejo de reduzir continuamente o custo do teste, é essencial uma solução flexível para fazer com que a simulação HIL seja prática em seu processo de desenvolvimento. Uma solução eficaz de simulação HIL precisa se adaptar rapidamente às mudanças encontradas durante e entre os ciclos de desenvolvimento. Uma pequena modificação na configuração ou no processo do teste não deve exigir uma grande renovação do seu simulador HIL. Com base na atual taxa de inovação, você não pode esperar que um único fornecedor atenda simultaneamente os requisitos de tempo de lançamento no mercado, qualidade e expectativa de custo para todas as tecnologias mais recentes. Uma solução aberta de simulação HIL baseada em ferramentas comerciais prontas para uso garante que você sempre possa integrar as tecnologias necessárias para testar sua ECU.

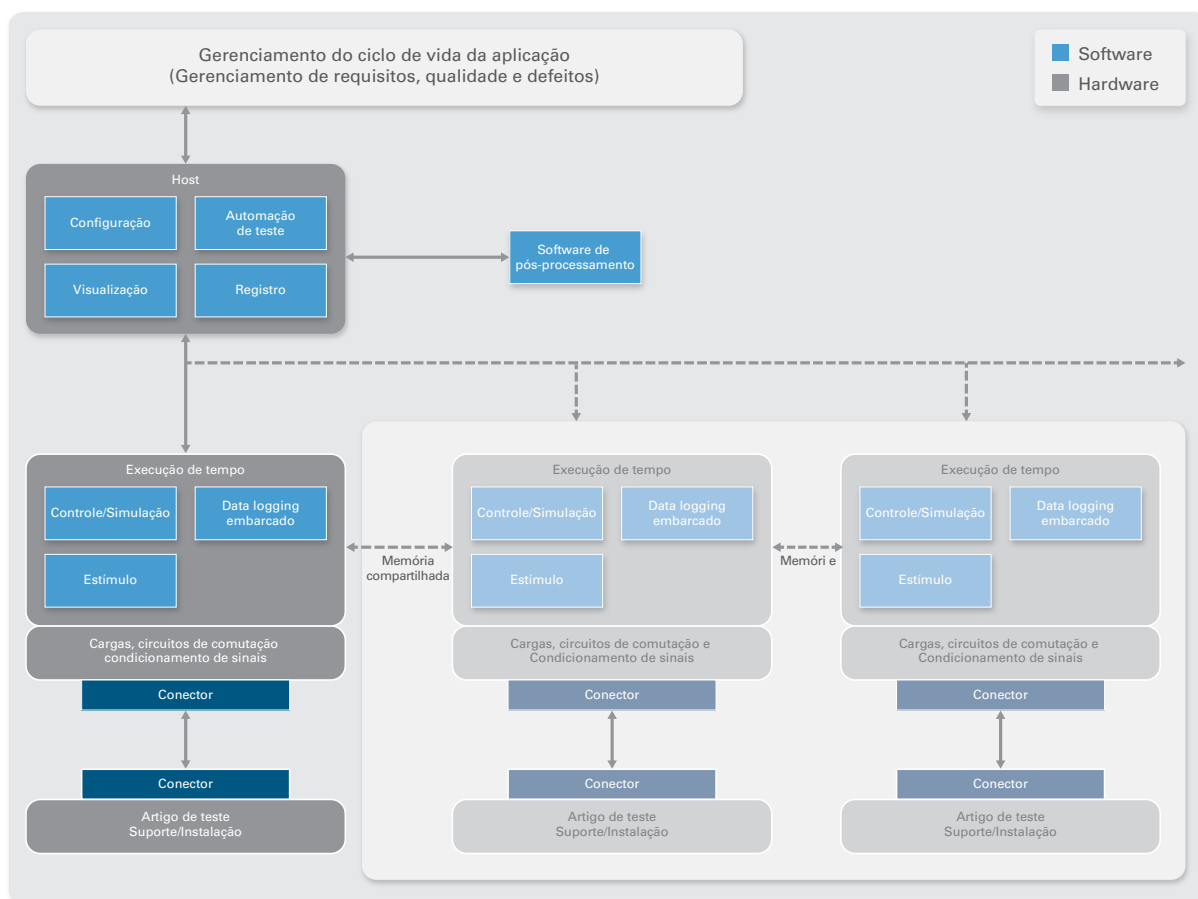


Figura 12. Os sistemas de teste HIL flexíveis são preparados para expansão do projeto e futuros requisitos

Embora os sistemas HIL estejam se tornando onipresentes no mundo dos testes embarcados, eles são outra etapa da continuidade do teste. Ao escolher sua estratégia de teste HIL, não deixe de considerar como esses sistemas se integrarão ao seu fluxo de teste além da validação do software embarcado. As empresas de ferramentas de teste com uma visão mais holística de teste oferecem uma proposição de valor bem melhor do que aquelas que se concentram em uma área específica do ciclo do teste.

A plataforma HIL da NI é uma solução comercial pronta para uso projetada para ser expandida e customizada para atender à constante mudança dos seus requisitos. Você pode usar as ferramentas da NI em sistemas desktop pequenos e, devido a sua arquitetura modular e software aberto, elas podem ser expandidas para serem utilizadas em sistemas distribuídos com grandes quantidades de canais com sincronização precisa, como os simuladores de aeronave Iron Bird. A NI desenvolve produtos para atender às necessidades de diversas indústrias, de controle industrial à eletrônica de consumo. O desempenho, confiabilidade e flexibilidade necessários para essas aplicações mais exigentes também estão disponíveis para os engenheiros que fazem simulação HIL, o que torna a NI um parceiro ideal para o teste de software embarcado.

## Suporte e serviços globais

Obter o máximo de valor de um sistema HIL amplia a configuração inicial do sistema e requer não apenas manter o sistema em serviço e operacional, mas também promover treinamento de pessoal nas ferramentas implementadas no sistema. Selecionar os fornecedores com os serviços certos, incluindo suporte técnico, manutenção do sistema, gerência de sobressalentes e treinamento pode ser muito benéfico para maximizar seu investimento.

Uma vez que as empresas podem se expandir para outros continentes, encontrar um fornecedor com infraestrutura e metodologia consistente globalmente é também um fator importante. A NI tem uma presença global com escritórios em 50 países. As equipes de suporte ao redor do mundo empregam engenheiros experientes para ajudá-lo a ser bem sucedido em seu teste HIL, o que torna a NI um fornecedor confiável de ferramentas para teste de software embarcado.



## Referências:

1. Horner, T., "Knock Detection Using Spectral Analysis Techniques on a Texas Instruments TMS320 DSP," SAE Technical Paper 960614, 1996, doi:10.4271/960614.
2. Viele, M., Stein, L., Gillespie, M., and Hoekstra, G., "A PC and FPGA Hybrid Approach to Hardware-in-the-Loop Simulation," SAE Technical Paper 2004-01-0904, 2004, doi:10.4271/2004-01-0904.

©2015 National Instruments. Todos os direitos reservados. DIAdem, LabVIEW, MATRIXx, National Instruments, NI, ni.com, NI TestStand, NI VeriStand e SystemBuild são marcas comerciais da National Instruments.

@Simulink é uma marca registrada da The MathWorks, Inc. Outros nomes de produtos e empresas aqui citados são marcas comerciais ou nomes comerciais de suas respectivas empresas. Um Alliance Partner da National Instruments é uma pessoa jurídica independente da National Instruments, não tendo relação de agência, parceria ou joint-venture com a National Instruments. 20544



TOC



Back