

白皮书

# FADEC系统的硬件在环(HIL)测试:

Pickering Interfaces 与 OPAL-RT Technologies

联合解决方案



# 目录

执行摘要.....	3
什么是FADEC?.....	3
EEC、DEC与FADEC的区别.....	3
FADEC的工作原理.....	4
输入信号.....	4
输出控制.....	5
通信总线.....	6
FADEC与发电系统.....	6
实时嵌入式系统.....	7
基于HIL的FADEC设计与验证.....	7
FADEC的HIL仿真需求.....	8
实时仿真.....	9
温度传感器仿真.....	10
负载(电阻)仿真.....	11
位置/位移仿真.....	11
数据通信多路复用.....	12
离散I/O仿真.....	12
应变与压力传感器仿真.....	13
信号中断与故障注入.....	13
系统集成与控制.....	14
总结.....	17
关于Pickering Interfaces.....	18
关于OPAL-RT Technologies.....	18

## 执行摘要

全权限数字发动机控制 (FADEC) 系统是现代商用和军用飞机中用于全面控制发动机性能的复杂、安全关键型嵌入式控制器。为验证其在各种真实工况下的功能表现, 硬件在环 (HIL) 仿真提供了一种高效、可靠且可认证的验证策略。

本白皮书介绍了由Pickering Interfaces与OPAL-RT Technologies联合开发的HIL解决方案。该方案融合了OPAL-RT在实时仿真与完整解决方案测试台领域的领先技术, 以及Pickering在精密信号开关、传感器仿真和仪器仪表方面的专业优势, 共同构建了一个功能强大、可扩展且符合认证要求的FADEC全流程验证环境。

## 什么是FADEC?

全权限数字发动机控制 (FADEC) 系统是一种实时监控发动机参数与控制操作的嵌入式系统, 旨在实现最优性能、燃油效率提升、降低飞行员操作负荷, 并增强系统可靠性。

目前, FADEC已被多家航空发动机OEM厂商广泛应用于其产品中。例如:

[罗尔斯·罗伊斯 \(Rolls-Royce\) 在其EJ200发动机](#) (用于欧洲台风战斗机)、Trent系列发动机, 以及M250涡轮轴发动机 (应用于西科斯基S-76等直升机) 中均采用了FADEC技术。

FADEC通过减少机械复杂度并提升与航空电子系统的集成度, 显著优化了可维护性与长期性能。由于其对发动机拥有全权限控制, 该系统必须符合严格的航空认证标准 (如DO-178C和DO-254), 因此需要采用硬件在环 (HIL) 仿真等高可靠性开发与验证策略。

Pickering与OPAL-RT的联合推出的完整可扩展硬件在环 (HIL) 测试平台, 整合了以下核心技术: 高保真实时仿真 (基于OPAL-RT), 先进传感器/负载模拟 (Pickering精密信号生成与开关), 多协议通信总线验证 (如ARINC 429、CAN总线等), 高可靠系统集成架构。该平台显著加速FADEC开发周期, 通过早期缺陷检测降低后期改造成本, 全工况覆盖测试提升系统可靠性, 符合航空最高认证标准。

## EEC、DEC与FADEC的区别

不同发动机控制系统的差异, 凸显了全面测试的重要性:

- **电子发动机控制 (EEC)** 采用模拟电路处理输入/输出信号, 属于早期控制技术。
- **数字发动机控制 (DEC)** 引入数字处理器执行控制任务, 但仅具备有限发动机权限。
- **全权限数字发动机控制 (FADEC)** 完全自主控制发动机运行, 集成所有参数的数字化监控与指令下发。

尽管本文重点讨论FADEC, 所述方法同样适用于EEC和DEC系统的验证。

## FADEC的工作原理

FADEC系统通过实时监控多源输入信号、接收驾驶舱指令、与机载系统交互并驱动执行机构，实现全权限控制。以下分述其接口类型：

### 输入信号

FADEC持续监测的传感器与输入类型包括：

- 排气温度 (EGT)
- 压气机进口压力
- 燃烧室温度传感器
- 涡轮冷却空气温度传感器
- 总空气温度 (T2) 传感器
- 空气密度传感器
- 进气道压力传感器
- 压气机出口传感器
- 燃油系统压力传感器
- 空气/燃油流量传感器
- 轴转速传感器
- 发动机机匣振动传感器
- 滑油金属屑探测器

其他输入信号来自驾驶舱，主要包括发动机启动 (Engine Start) 和油门控制指令 (Throttle Control)。

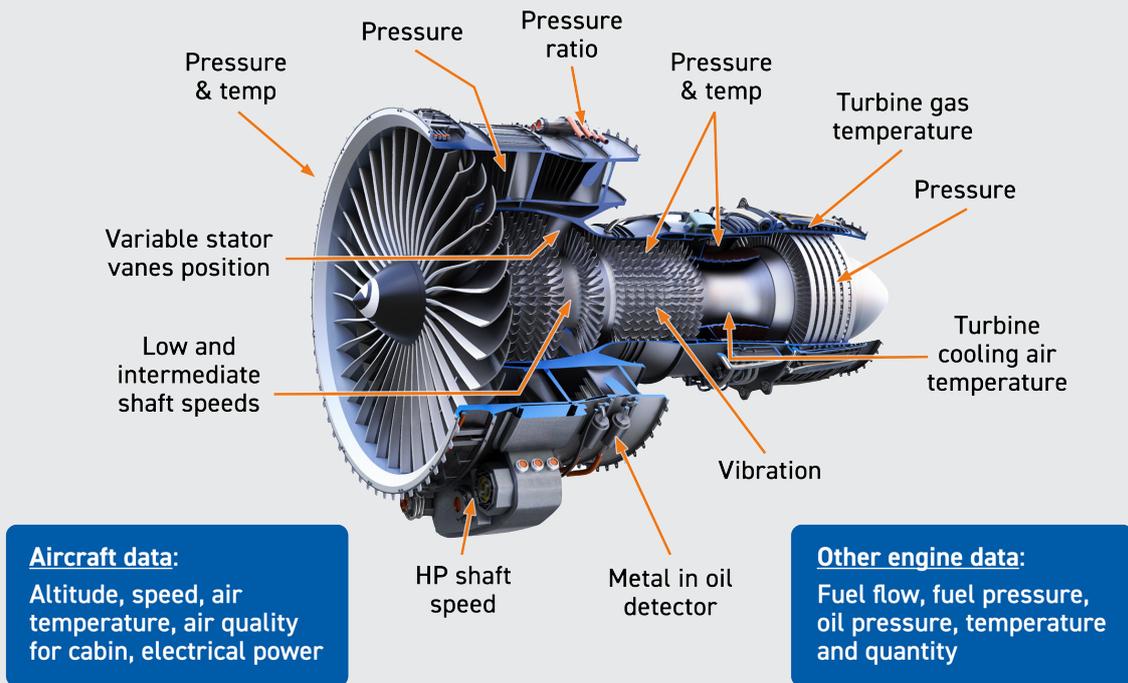


图 1 – 来自发动机的数据示意图。

FADEC系统可接收模拟信号与数字信号的混合输入。模拟输入信号包括电压或电流形式(既可采用自定义范围,也可采用工业标准4-20mA电流环),而数字输入信号则可能包含脉宽调制(PWM)信号。

## 输出控制

FADEC系统的许多输出驱动执行机构,读者应当了解,这些执行机构将电信号转换为机械运动,从而可用于调节阀门位置等操作。大多数执行机构直接安装在发动机上。

例如,由执行机构驱动的燃油计量阀调节进入燃烧室的燃油量,压气机引气阀则根据飞行阶段(如起飞、爬升和巡航)调整发动机内部的气压。至于降落阶段,反推装置用于帮助飞机减速,FADEC控制液压执行机构改变发动机推力方向以辅助制动。

常见的其他执行机构还包括可变面积喷口(VAN)执行机构,其通过调节排气流通面积来控制排气输出。这种调节有助于优化推力、提高燃油效率并降低噪音水平。另一个例子是涡轮叶片位置执行机构,其根据功率需求调整涡轮叶片角度,从而提升发动机性能、增强效率并减少部件的过度磨损。

此外,尽管不直接驱动执行机构,FADEC的一项重要输出是控制点火系统的点火塞,确保其在发动机启动时准确激活,以实现平稳可控的启动过程。

值得一提的是,FADEC系统通常采用工业标准的4-20 mA模拟通信协议与传感器和执行机构进行通信。

FADEC系统实时输入/输出交互的复杂性和多样性,使得通过OPAL-RT的实时系统和Pickering的I/O仿真进行硬件在环(HIL)仿真成为理想的验证策略。

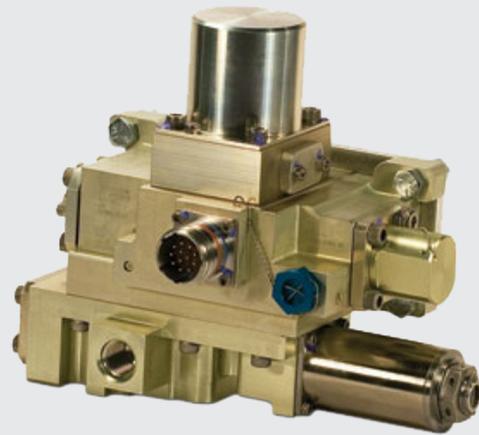


图 2 – JASC 燃油计量阀组件 (FMVA)

将电液式四通燃油计量伺服阀、压力补偿旁通阀、先导式电磁阀以及截止阀集成于一个模块化结构中。

来源 来源: <https://jasc-controls.com/fuel-metering-valve/>

## 通信总线

FADEC系统通过多种航空总线协议实现与机载系统的数据交互, 主要包括ARINC 429与AFDX (航空全双工交换以太网, ARINC 664标准)。作为民航领域主流总线, 它们承担着FADEC与航电显示系统、飞行管理系统 (FMS) 及各类I/O模块的数据传输任务。

军用平台则普遍采用MIL-STD-1553总线, 部分商用机型亦沿用该标准。这种实时双向通信总线为FADEC与机载系统间的关键监控与控制提供确定性的数据传输保障。

对于基础通信需求, 系统可能采用:

- RS-232 (50英尺内点对点低速通信)
- RS-485 (4,000英尺级多点通信, 支持多设备组网)

在HIL仿真测试中, OPAL-RT的实时协议栈与Pickering的差分信号路由/故障注入模块协同工作, 精准复现各类总线的正常与故障工况, 确保通信系统的全状态验证覆盖。

## FADEC与发电系统

FADEC系统通过精确控制发动机性能来确保稳定可靠的动力输出, 为飞行器的电气、液压、气动和机械系统提供支持。该系统通过优化发动机效率和保障安全可靠的动力传输, 在管理飞机整体动力系统、提升运行安全性和性能方面发挥着关键作用。

FADEC能够根据飞机电力需求的变化调节发动机功率输出, 有效管理发动机负载, 确保为机载电气系统提供充足动力, 同时避免过载或动力不足的情况。这种高效的动力管理显著改善了燃油消耗效率, 并为飞机的电气和机械系统提供了更稳定的动力供应。

该系统还具备完善的安全保护功能, 即使在系统故障时也能维持适当的动力输出。例如当单发失效时, FADEC可自动调整动力分配和管理发动机性能, 确保其余系统正常运行并保持飞机的可操控性。FADEC与配电系统的协同工作通过精确调节各系统的功率分配, 有效防止过载情况的发生。

这种精确的动力调控不仅降低了燃油消耗, 预防了系统过载, 更全面提升了运行安全性。通过硬件在环 (HIL) 仿真技术, FADEC开发人员能够安全可靠地验证发动机在不同负载条件下的响应特性

## 实时嵌入式系统

FADEC本质上是一个实时系统,需要对关键传感器输入和执行器指令做出确定性响应。

OPAL-RT的实时仿真平台运行在RTLinux等强实时操作系统上,确保FADEC的时序要求得到准确建模和测试。这些系统支持航空航天应用所需的精确响应时间、并发管理和复杂多任务处理。

实时HIL仿真能够早期发现时序问题,并验证FADEC是否符合航空航天行业严格的时序和安全标准。

## 基于HIL的FADEC设计与验证

硬件在环(HIL)是一种测试技术,通过硬件 I/O 与计算机控制的测试系统来仿真系统在现实中的运行工况。

在开发 FADEC 系统(或 ECC、DEC 及其他航空系统)过程中,HIL 能够为被测设计(DUT)提供必要的激励刺激信号。它通过仿真模拟 DUT 预期接收到的各种输入信号的输出与响应特性,加载仿真负载于 DUT 输出端,并通过通信接口与 DUT 进行交互,从而全面还原其真实运行环境。

HIL 解决方案在某些测试场景中无需依赖真实发动机,从而使工程师能够在开发周期的早期阶段发现软硬件集成问题,降低开发成本,加快 FADEC 系统及类似航空航天技术的上市进程。

## HIL 的优势包括

- **节约成本节省:** 通过仿真技术对 FADEC 的各个设计迭代进行评估,可显著减少原型设备(以及实体测试平台)的需求。
- **节省时间节省(进一步降低成本):** 在开发周期早期开展测试,有助于尽早发现并修复设计缺陷,避免问题在后续阶段扩散。
- **提升安全性(并进一步节省成本):** 系统在实际工况下(如高空飞行或极端温度)运行的验证工作可在无需昂贵环境舱或损坏设备风险的前提下完成。
- **故障注入:** 可模拟信号丢失(如开路、短路)、硬件失效(如执行器卡滞)、数据损坏(如数据包丢失)等故障类型。相较于物理制造这些故障,仿真更简单、更安全,尤其是在涉及高压等危险条件时。
- **模块可用性不足时的建模补偿:** 在 FADEC 平台的其他部分(如传感器模块)尚在开发、暂时不可用的情况下,也可通过建模仿真其预期特性,实现测试工作的持续进行。

此外,HIL 还支持局部测试。例如,一个子团队专注于发动机温度管理的软件模块开发时,只需将所有与温度相关的硬件连接至测试平台,而平台中则运行着发动机动态模型,如涡轮与压缩机行为、燃油与气流、热力与机械参数等。通过这种方式,即可对该模块进行有效验证,而无需等待整个系统集成完成。

OPAL-RT 的实时仿真平台可精确模拟仿真发动机的热力学、流体动力学及控制逻辑，而 Pickering 的仿真与故障注入硬件则能够真实复现传感器输入、执行器负载以及故障工况。这一联合解决方案使早期验证、故障注入、部分与全系统验证以及严格的认证测试成为可能，并且可在一个可重复、安全且具成本效益的环境中进行。

硬件在环 (HIL) 仿真技术使 FADEC (全权限数字发动机控制) 系统的开发工作得以拆分为若干独立任务，这种方式极为高效，因为各子团队可以相对独立地开展工作 (即无需等待其他团队完成其任务)。

在 FADEC 系统的验证过程中，追踪性至关重要，尤其是在如此高度受监管的行业中。HIL 系统的软件包括了脚本化的测试用例与测试序列，所有测试的结果都可以被记录。此外，还可以从模拟负载中获取大量在真实负载条件下难以测得的测量数据。

由于整个测试过程可被完整记录，因此测试条件与程序均可被复现，用于验证 FADEC 系统未来的升级版本。简而言之，HIL 测试是一种在产品开发阶段高效验证设计完整性的方式，并可涵盖设计演进过程中的修改和优化。

## FADEC的HIL仿真需求

HIL 环境的核心是一台主控计算机 (用于测试管理与执行)，以及一台实时控制器 (用于运行环境与发动机行为模型)。此外，还需要配备大量输入、输出及接口——这些接口是《FADEC 的工作原理》中所提及各项功能的模拟或仿真版本。

分线盒 (BOB, Breakout Box) 也是 HIL 系统中不可或缺的组成部分。它们提供了对信号的手动接入，方便进行测试与测量 (如连接示波器)，同时也支持故障注入操作。

OPAL-RT 负责提供实时仿真平台及测试台集成，而 Pickering 则通过其模块化硬件，满足了广泛的传感器与负载仿真需求。

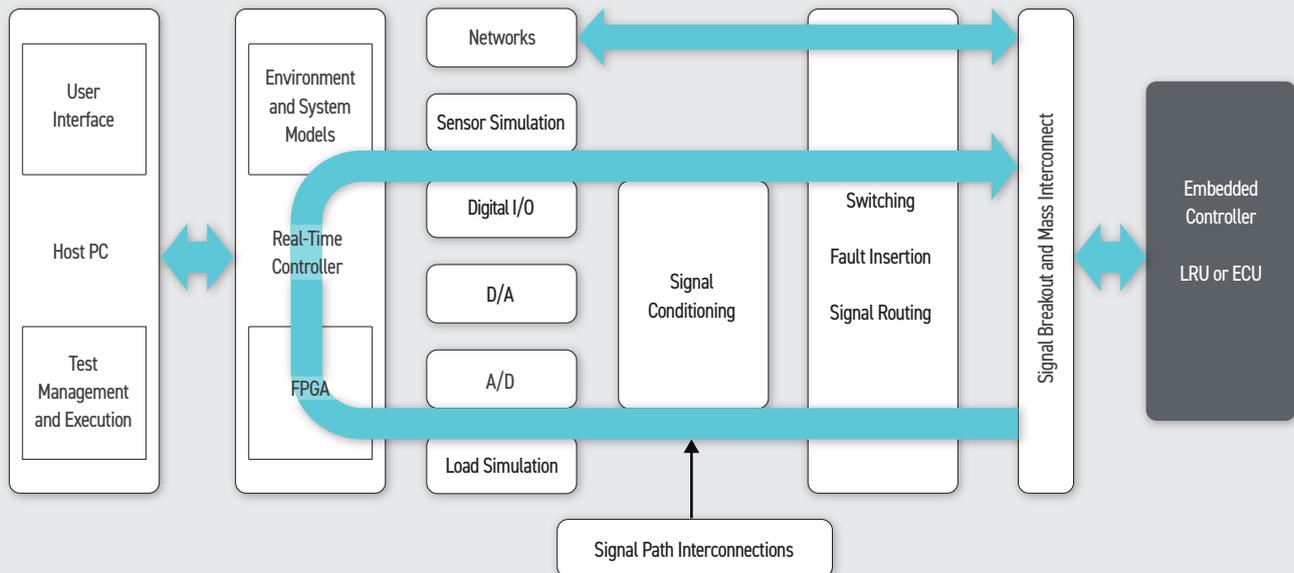


图 3 - HIL 测试系统架构图。

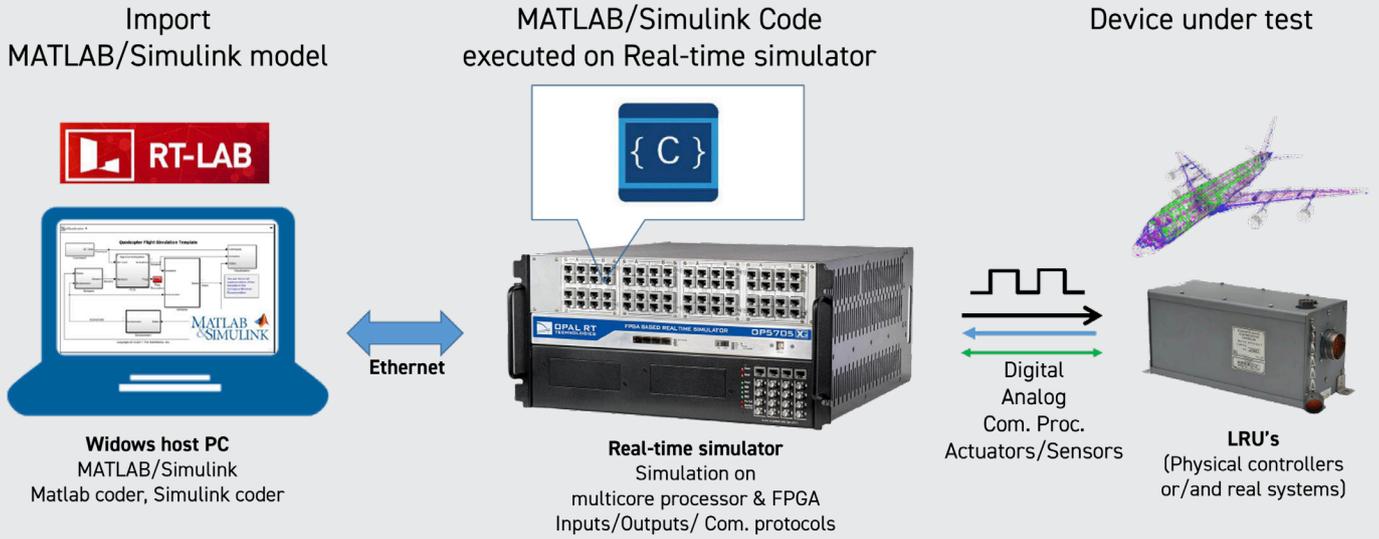


图 4 - OPAL-RT 的 HIL 解决方案概览

## 实时仿真

OPAL-RT 的实时仿真平台 (如 OP5707XG) 提供了强大且可扩展的环境,可在严格的时序约束下模拟复杂的热力学和机械发动机模型。

该平台支持基于 FPGA 的输入/输出处理,并可与 Pickering 基于 PXI 或 LXI 的仿真模块进行连接,实现高性能、高精度的系统集成。



图 5 - OPAL-RT OP5707XG 配备 Intel® Xeon® 处理器、最高 16 GB 内存、250 GB 固态硬盘,具备四个以太网端口 (两个 1 Gbps, 两个 10 Gbps)、USB 3.2 接口、HDMI 与 VGA 视频输出,以及一颗 Virtex®-7 FPGA,用于亚微秒级的实时仿真。

该系统配备四个以太网端口 (其中两个为 1 Gbps, 两个为 10 Gbps),两个 USB 3.2 Gen 2 Type-A 接口,以及 HDMI 和 VGA 视频输出接口。系统还集成了 Xilinx® Virtex®-7 FPGA,支持最小时间步长低至 145 纳秒的实时仿真。

## 温度传感器仿真

发动机温度传感器 (包括热电偶和热电阻 RTD) 在 FADEC 系统的运行中扮演着至关重要的角色。

Pickering 提供的 PXI 模块可精确模拟热电偶和 RTD, 确保其非线性特性、参考温度及故障状态均能真实再现。这使得无需真实发动机, 即可对 FADEC 系统在正常和极端热工条件下的响应进行验证。

例如, Pickering 的 41-761 系列 [热电偶传感器仿真](#) 模块可提供 8、16、24 或 32 路隔离信号输出通道, 输出电压范围高达  $\pm 100$  mV, 精度可达  $0.1\% \pm 5$  微伏。

相比之下, [RTD](#) (热电阻) 具有比热电偶更高的精度, 但其温度范围较窄, 常用于如进气温度等的测量。用于 RTD 模拟的模块可支持多种类型的 RTD 仿真, 大多数通过可编程电阻网络 (如下图所示) 来实现所需的测量范围与分辨率。

Pickering 的 PXI 模块可高精度地模拟多种关键发动机传感器, 包括热电阻 (RTD)、热电偶、应变计以及压力传感器, 并具备故障注入功能, 使开发人员无需依赖真实传感器, 即可在多种逼真的工况下验证 FADEC 系统的运行性能。

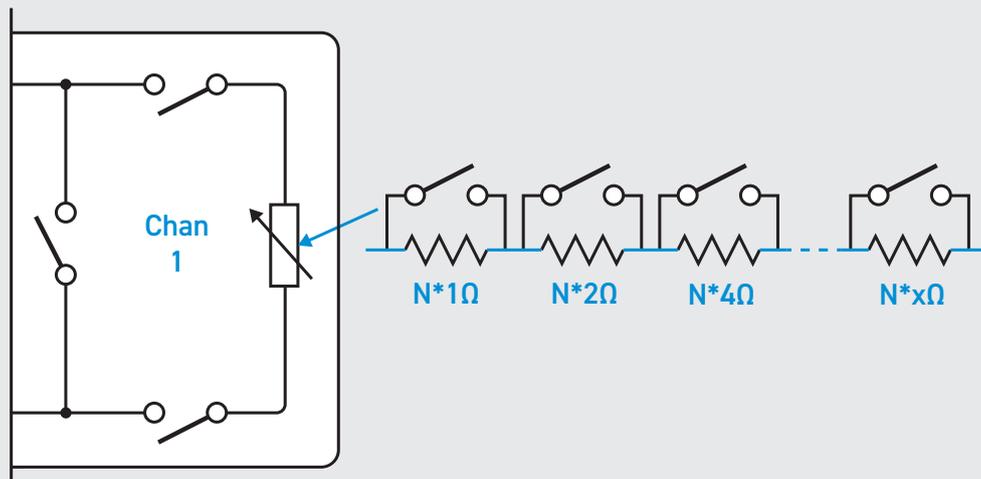


图 6 - RTD 仿真通道的简化示意图: 通过旁路某些电阻并将其他电阻纳入电阻梯阵, 可实现多种不同的电阻值, 尽管在量程与分辨率之间存在权衡关系。

以 [Pickering 的 PXI 热电阻 \(RTD\) 仿真器系列 \(40-263\)](#) 为例, 该系列模块提供多种型号, 可模拟最多 24 路 PT100、PT500 或 PT1000 类型的 RTD, 温度范围覆盖  $-150$  °C 至  $>+850$  °C, 具备  $0.1\%$  的精度和优于  $0.03$  °C 的温度仿真分辨率。

## 负载(电阻)仿真

负载电阻用于模拟仿真 FADEC 在各种工况下所见的电气特性。

Pickering 的可编程电阻模块能够仿真多种电阻值，并集成开路与短路故障仿真功能，使开发人员能够验证系统在真实动态负载下的响应行为。

在这方面，[PXI 精密可编程电阻模块](#)的分辨率低至 2 毫欧，精度高达 0.03%，同时还提供可承受高达 15 瓦功率的中功率模块，满足更高功耗仿真的需求。

## 位置 / 位移仿真

发动机中的关键移动部件，如燃油阀门和压缩机导流叶片，通常通过以下传感器进行监测：

- **线性差动变压器 (LVDTs Linear Variable Differential Transformers)**
- **旋转差动变压器 (RVDTs Rotary Variable Differential Transformers)**
- **旋转变压器 (Resolvers)**

Pickering 的 PXI 仿真模块可精确模拟这些传感器，在 HIL 测试过程中为 FADEC 提供必要的位置反馈。

Pickering 的 [LVDT、RVDT 和 Resolver 仿真模块 \(41/43-670 系列\)](#) 支持最多四个仿真通道组，每组可仿真一个 5 线或 6 线的 VDT 或旋转变压器输出，或通过共享激励信号，仿真两个 4 线的 LVDT/RVDT。这意味着该模块最多可同时模拟四个 5 线或 6 线通道，或八个 4 线通道。

高速版本还可支持高达 130,000 RPM (转/分钟) 的旋转变压器输出速度仿真，满足高速运动部件的测试需求。



图 7 - Pickering Interfaces 的 PXI/PXIe 15 W 可编程电阻模块支持最小至 0.125 Ω 的编程步进，具体电阻范围根据型号不同可覆盖 1 Ω 至 395 kΩ。

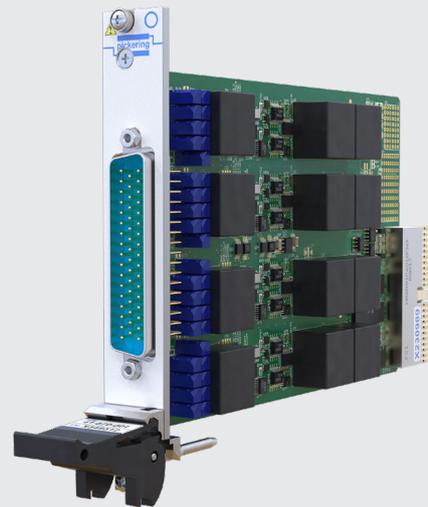


图 8 - LVDT、RVDT、Resolver 仿真模块 (41/43-670) 可仿真最多四个 5 线或 6 线的 VDT/旋转变压器，或八个共用激励信号的 4 线 LVDT/RVDT 通道。

## 数据通信多路复用

ARINC 429、MIL-STD-1553、CAN 以及 AFDX 等通信总线用于在 FADEC 与其他航空系统之间传输关键数据。

Pickering 的高带宽差分复用器及故障注入模块能够透明地路由这些数据通信信号，确保在真实的负载和故障工况下对 FADEC 通信接口的有效性进行验证。

[PXI 数据通信复用器 \(型号 40-736A-001\)](#) 可通过软件控制配置，支持开关 32 对差分信号、16 组双差分对，或 8 组四差分对。

为支持以太网应用，该模块还集成了一个开关网络，可轻松实现 Tx 与 Rx 对之间的交换，以仿真以太网交叉线缆的效果。



图 9 – PXI 数据通信多路复用器 (40-736-001) 支持最多 32 对差分信号的开关，并简化了以太网交叉连接的仿真操作。

## 离散 I/O 仿真

在 FADEC 的运行过程中，诸如开关、继电器和简单状态指示器等离散信号起着关键作用。



图 10 – 工业级数字输入/输出模块系列 用于数字信号的生成与采集，适用于具备故障防护功能的测试应用。

Pickering 的 [PXI 数字 I/O 模块](#) 可以可靠地模拟离散数字信号，并可在 HIL 测试期间动态控制，以验证 FADEC 的响应行为。

这些模块具备高通道密度（最多支持 128 路输入或 64 路输出通道）、宽电压范围（输入电压最高达 300 V，输出电压达 60 V）、较大电流输出能力（最高 2 A），以及可编程的输入逻辑电平阈值。产品同时提供 PXI 和 PXIe 两种封装形式，满足不同系统集成需求。

## 应变与压力传感器仿真

压力读数对于发动机控制至关重要。

Pickering 的 [PXI 电流输出模块](#) 可模拟 4–20 mA 的传感器与变送器信号, 并具备注入故障 (如开路与短路) 的能力, 使开发人员能够对 FADEC 的压力感知与响应系统进行全面验证。

此外, Pickering 还提供 PXI 应变计仿真模块, 可在平衡电桥结构中精准模拟应变传感器和压力传感器的行为。

## 信号中断与故障注入

故障注入是验证系统安全性和冗余策略的关键手段。

Pickering 的 [模块化引出系统 \(MBOS\)](#) 最初与 OPAL-RT 共同开发, 结合了传统手动分线盒的功能, 同时具备自动化故障注入单元 (FIU) 的灵活性。

该系统可安装多种 PXI 故障注入模块, 实现 FADEC 与仿真环境之间电气接口上的自动化动态故障注入。

可注入的故障类型包括开路、短路、交叉连接等, 所有故障均可在安全、可控的前提下系统性地引入, 确保验证过程的全面性与重复性。

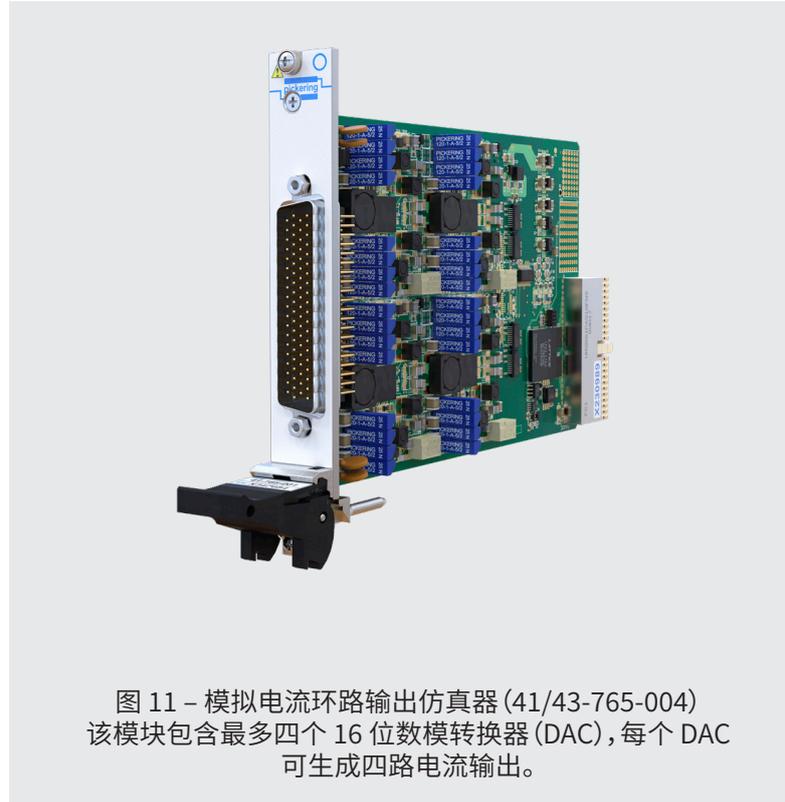


图 11 – 模拟电流环路输出仿真器 (41/43-765-004)  
该模块包含最多四个 16 位数模转换器 (DAC), 每个 DAC 可生成四路电流输出。



图 12 – 通过使用插拔模块将故障注入单元 (FIU) 机箱直接对接至接线盒 (BoB), 显著减少了线缆连接, 从而实现更紧凑、更可靠的系统设计, 并有效提升信号完整性。

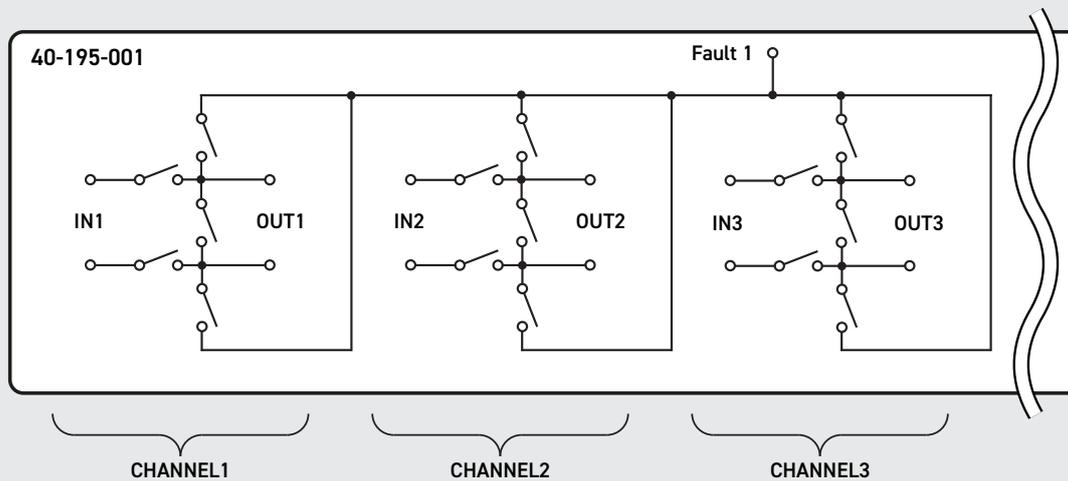


图 13 - 通道 1 可用于在传感器输出 (IN1) 与 FADEC 输入 (OUT1) 之间仿真开路、短路或故障条件。

IN1 可能来自传感器的互补信号对, 而 OUT1 则是 FADEC 期望接收到该电压的输入端。通道 1 可被控制以实现以下功能: 使信号对中的任一或两个分量进入开路状态; 将两个信号短接在一起; 或将其短接至“故障总线”(例如, 该总线可设置为 0V, 以模拟接地短路的故障情形)。

## 系统集成与控制

成功的 HIL (硬件在环) 仿真依赖于强大的系统集成能力。

OPAL-RT 提供全套集成测试平台, 包括:

- 实时仿真计算机
- FPGA I/O 扩展单元
- 定制电缆线束与接口盒
- 完整的可追溯性与自动化测试报告功能

Pickering 提供的开关、仿真与测量模块, 配合其标准或定制的线缆与互连附件, 通过 PXI 与 LXI 标准与 OPAL-RT 的实时控制架构无缝集成。

双方联合构建的即注即用型 HIL 测试系统, 可协助客户满足如 DO-178C 和 DO-254 等航空航天认证要求。

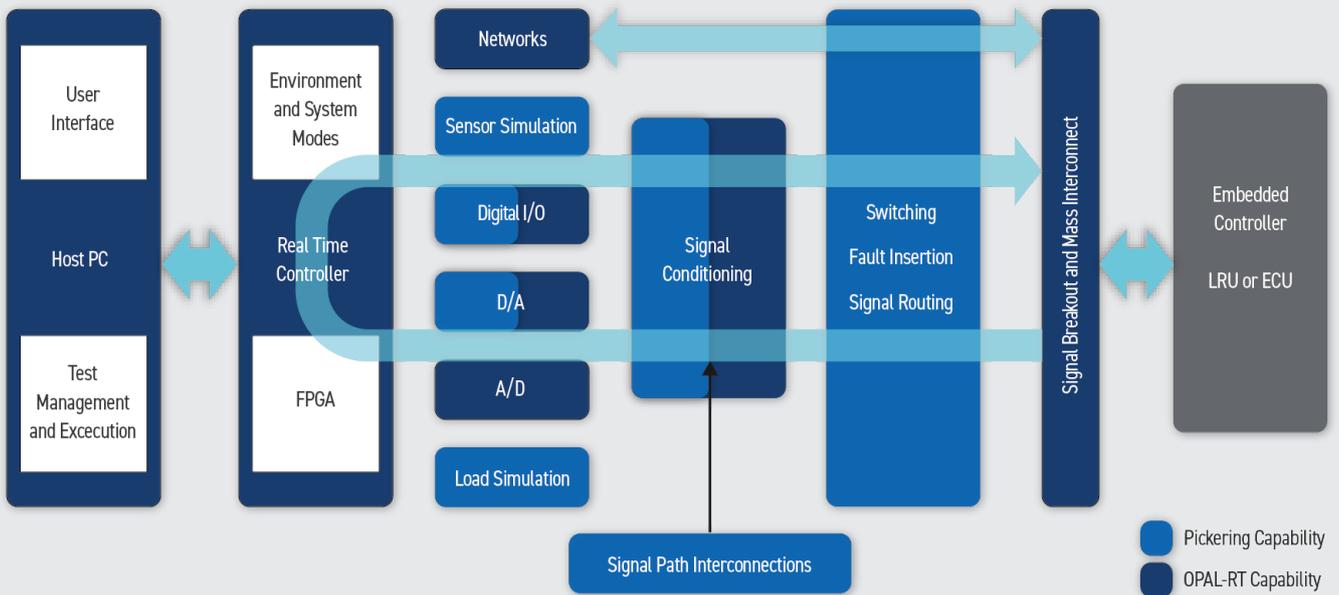


图 14 – 本图展示了一个完整的 HIL 仿真环境

浅蓝色部分表示由 Pickering Interfaces 提供的组件，深蓝色部分表示通常由 OPAL-RT 提供的组件。两家公司提供的技术优势互补，结合使用可构建一个集成且强大的 HIL 解决方案。

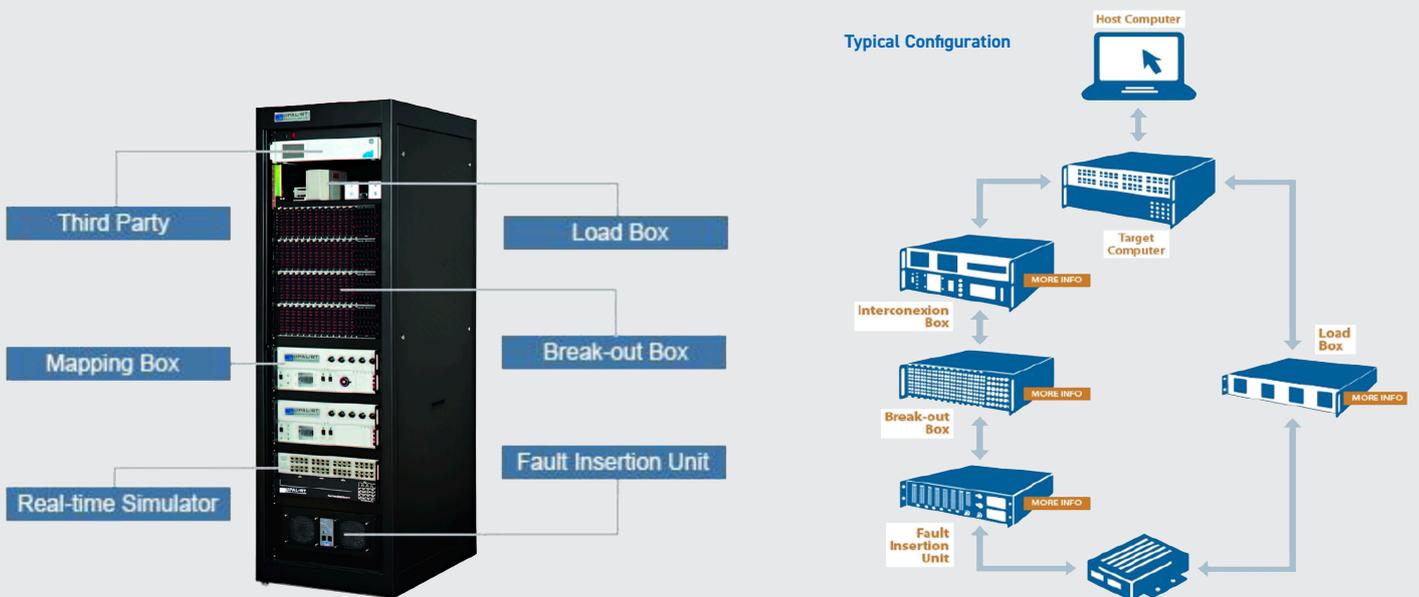


图 15 – OPAL-RT 的一站式解决方案 经过初步设计评审 (PDR)、关键设计评审 (CDR) 以及出厂验收测试 (FAT)。

凭借在航空航天一站式测试平台方面的丰富经验, OPAL-RT 可确保其实时仿真平台与 Pickering 的硬件模块实现无缝集成。



图 16 – OPAL-RT 的测试平台可完全定制, 不仅可用于测试 FADEC, 还可测试各类执行器、阀门和传感器。

每套 OPAL-RT 测试平台均配备至少一台先进的实时仿真器, 并通过定制的映射盒与线束连接至被测设备 (DUT)。这些连接组件由 OPAL-RT 专家团队根据客户的具体需求精确设计。

为进一步实现测试的定制化与便捷性, OPAL-RT 及其第三方合作伙伴提供多种扩展设备, 包括故障注入单元 (FIUs)、负载箱、信号引出盒 (BOBs)、传感器模拟器及可编程电阻模块等。

所有测试平台在出厂前均通过电气安全认证, 确保符合相关标准。

OPAL-RT 的 OP8600 信号互联单元 (又称映射盒) 支持完全可定制的信号路由与信号调理, 能够灵活满足客户的多样化测试需求。

OPAL-RT 的实时仿真平台 (如 OP5707XG) 支持对复杂热力学与机械发动机行为的精确建模, 仿真时间步长低至 145 纳秒, 确保符合航空航天应用对严格时序与安全标准的要求。

## 总结

FADEC 系统是一类结构复杂、对安全至关重要的嵌入式系统，需在严苛环境中稳定运行。HIL (硬件在环) 仿真技术能够高度还原该运行环境，使工程师无需使用具备完整的物理发动机，即可测试系统对真实发动机行为、传感器输入与执行器输出的响应。

借助 HIL 仿真平台，工程师可以高效地测试与优化 FADEC 的算法、配置和参数。相比于在真实发动机上测试，HIL 提供更快速的迭代方式，使开发团队能够在设计周期早期发现软硬件集成问题，从而节省时间并显著降低后期修改的成本。

HIL 仿真还大大减少了对真实发动机测试的依赖，这类测试不仅风险高，成本也昂贵。通过模拟发动机行为，工程师可在可控环境中安全地验证极端或故障工况，虚拟测试那些在真实硬件上难以实现、危险或代价高昂的场景，确保 FADEC 系统在真实故障条件下的正确响应。

此外，HIL 仿真通过自动生成详细的测试记录和结果，支持合规性认证。这些记录提供关键的可追溯性，证明系统已在可控、可重复的环境中完成了全面测试。

OPAL-RT 与 Pickering 的合作，带来了一个完整且可扩展的 HIL 测试平台，融合了实时仿真、先进的传感器与负载模拟、通信总线验证及强大的系统集成能力。这一解决方案不仅加速了 FADEC 系统的开发进程，提升了系统可靠性，也保障了其符合航空航天行业最严苛的标准。

如需了解更多信息，请访问：

[pickeringtest.com/HIL](http://pickeringtest.com/HIL)

[opal-rt.com/hardware-in-the-loop/](http://opal-rt.com/hardware-in-the-loop/)



## 关于 Pickering Interfaces

Pickering Interfaces 专注于设计和制造用于电子测试与验证的模块化信号开关、仿真及测量产品。公司重点服务于航空航天及其他安全关键型应用领域，其基于 PXI 和 LXI 架构的系统在灵活性、性能、可靠性与使用寿命方面表现卓越。此外，Pickering 还提供配套的标准及定制互连产品，帮助用户简化系统集成流程，提升整体测试效率。

## 关于 OPAL-RT Technologies

OPAL-RT 是全球领先的实时仿真与硬件在环 (HIL) 解决方案供应商，广泛服务于航空航天、汽车及电力系统等关键行业。OPAL-RT 的一站式航空测试平台在全球已积累数千小时的稳定运行经验，平台集成了定制的实时仿真系统、高保真 I/O 接口以及强大的测试自动化工具，助力诸如 FADEC 等关键控制系统实现合规、安全与持续创新。

## pickering 区域销售和支持

中国分公司——品英仪器(北京)有限公司  
电话: +86 4008-799-765 | 电邮: chinasales@pickeringtest.com

品英仪器官方客服代表  
即时响应您的产品询价  
订货、技术支持等需求

品英仪器微信公众号,  
分享最新行业动态、  
公司新闻、职位招聘

产品搜索微信小程序,  
输入需求关键词,  
即刻获取产品列表



我们通过本地经销商在以下国家与地区进行销售: 中国、澳大利亚、比利时、加拿大、印度、印度尼西亚、以色列、意大利、日本、马来西亚、荷兰、新西兰、菲律宾、新加坡、南非、韩国、西班牙、中国台湾、泰国、土耳其、越南以及美国。

“Pickering Interfaces”、“品英”、蓝白色公司标识、“BRIC”、“BIRST”、“eBIRST”是 Pickering Interfaces 的商标。其它品牌与产品名称是相关权利人的商标或注册商标。本文档显示的是相关产品的特性概述，如有变更恕不另行通知。