

如何使用NI Multisim和 LabVIEW来设计和仿真有刷直流电机H-桥电路

概览

使用NI Multisim 12.0, 你可以在原型化你的整个模拟和数字电路系统之前对系统进行桌面的仿真。现在, 使用 Multisim/LabVIEW 联合仿真特性, 可以进行数字FPGA控制器逻辑和晶体管电力电子器件级的闭环仿真。本教程展示了如何使用 Multisim和 LabVIEW2011 来开发有刷直流电机H-桥电路的模拟部分和数字控制模块。在本文中, 将学习到如何使用机电一体化, 电力电子和传感器反馈模块 (Multisim 中的新特性)来创建一个闭环控制系统。同时还简要介绍了如何创建并调试 LabVIEW FPGA IP核。Multisim和 LabVIEW允许在系统层面上进行联合设计, 通过仿真, 保证了 LabVIEW中开发的现场可编程逻辑门阵列(FPGA) 的算法和代码可以提供模拟电路所需的运行结果以后, 就可以直接用硬件进行实现, 改变达到最小化。借助有仿真功能的高级 Multisim设计途径, 你可以在设计流程的前面几个阶段就了解系统的准确性能, 这样的结果是减小了原型化过程中的迭代次数(至多可以节省三次PCB制造次数), 并且可以用更少的编译时间来实现更准确的嵌入式代码(每次编译可以节省大约四小时)。

目录

1. 软件及硬件需求
2. 介绍
3. 技术背景文档
4. 设计过程
5. LabVIEW FPGA IP核
6. 完整系统架构
7. 结论

软件及硬件需求

1. Multisim 12.0
2. LabVIEW 2011
3. LabVIEW 2011 控制与仿真模块
4. LabVIEW 2011 FPGA 模块
5. CompactRIO (可选为硬件实现平台)

介绍

使用系统级的仿真, 你可以实现两个独立的仿真引擎(模拟 SPICE电路和数字逻辑控制)之间的点对点仿真。这种功能完全体现在 Multisim和 LabVIEW平台上, 两者通过 (cosimulation) 的方式来完成交互。仿真的结果就是对整个模拟电路和数字模块的验证, 包括了所有的系统的动态特性。Multisim, 作为专为准备的模拟和混合信号电路仿真的环境, 内置了大量顶尖半导体厂商(如 Analog Devices, NXP, ON Semiconductor, Texas Instruments, 等)提供的 SPICE模型。LabVIEW仿真引擎则以图形化, 数据流的形式有效地设计和实现控制逻辑。该引擎可以为机械系统的嵌入式数字代码提供高级的仿真优化解决方案。



图1. Multisim 和 LabVIEW 联合仿真

在这个范例设计中, 开发了一个有刷直流电机H-桥电路连同脉宽调制(PWM) 闭环控制逻辑的完整的系统仿真方案。对直流电机进行了建模并在 Multisim中 和H-桥晶体管及门极驱动一起进行了仿真。反馈传感器和测量电机速度的正交编码器用来为 LabVIEW提供反馈信号。在 LabVIEW中, 一个专利控制逻辑用来对 Multisim送来的反馈的信号进行处理。生成的PWM 控制信号又再次施加给Multisim 的输入接口, 以此控制H-桥的晶体管门极开关状态。这个电路可以调节流入电机的电流大小。使用 LabVIEW FPGA IP模块 进行的逻辑仿真以 40MHz的频率运行。

本教程演示了一个在硬件实现前准确的桌面仿真原型。

技术背景文档

学习以下相关知识:

- LabVIEW和 Multisim联合仿
- H-桥拓扑结构
- PID控制基础
- 直流电机闭环控制
- PWM 基础

设计过程

设计的第一步是在 Multisim中 开发模拟电路。电路 中包括了 Multisim 12.0提供的新的 电力电子元件模型。

- 新的电力金属氧化物 半导体，场效应晶体 管(MOSFET) 模型，可以改变器件 的参数选项
- 新的直流永磁机模型
- 新的增量编码器和 rad/s及rpm 转换器模型

Multisim模 拟电路包括三个不同 电路图：

- 第一个电路使用了 IR公司 (International Rectifier) 的MOSFET (IRF953和 IRF371)
- 第二个电路又添加 了两个额外的门极驱动 器(IR2101) 的SPICE模型来 保证MOSFET开 关有可靠的偏置。
- 第三个电路基于通用 的MOSFET模型

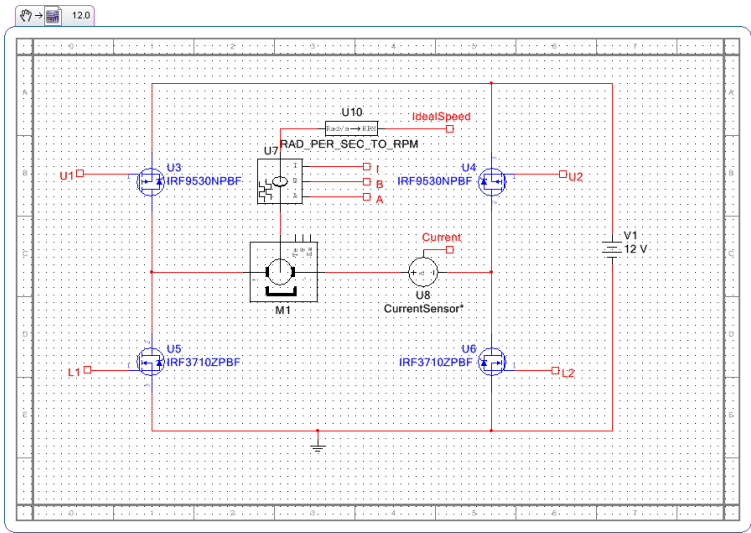


图2. 使用(IR)公司 MOSFET模型的 模拟电路图

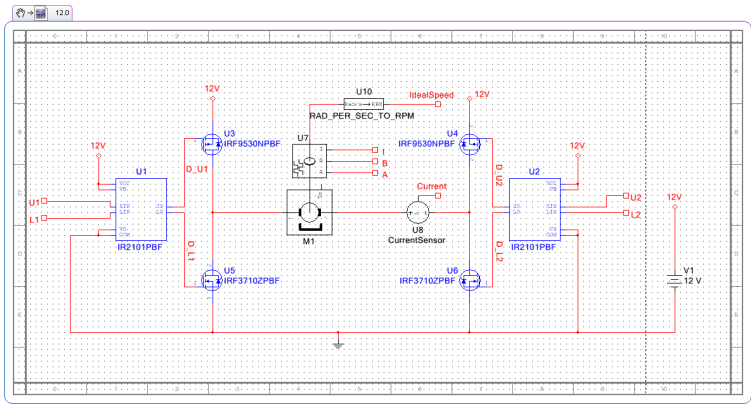


图3. 使用IR公司 MOSFET模型和 门极驱动器的模拟电 路图

使用 Multisim仿 真，你可以在设计流 程的靠前阶段验证电 气部分。SPICE 模型是由半导体生产 商提供了基于真实器 件性能的准确模型。使用这些模型，你可 以在制造原型机之间 就决定系统预期达到 的效果。

在仿真中使用IR公 司的MOSFET 模型可以在桌面仿真 阶段就验证电路的 真实 运行情况。观察结果 可以发现，由于在 第二个电路中添加 了门 极驱动器，引入 了几个纳秒的延迟， 当然，这是可以忽略 的。

如果你使用的 MOSFET没有生 产厂商提供的模型， 增强的 Multisim数 据库提供了通用的 MOSFET模型， 你可以根据器件规格 自定义MOSFET 的各个参数。图4中 的第三个电路图展示 了基于通用 MOSFET模型的 电路图。

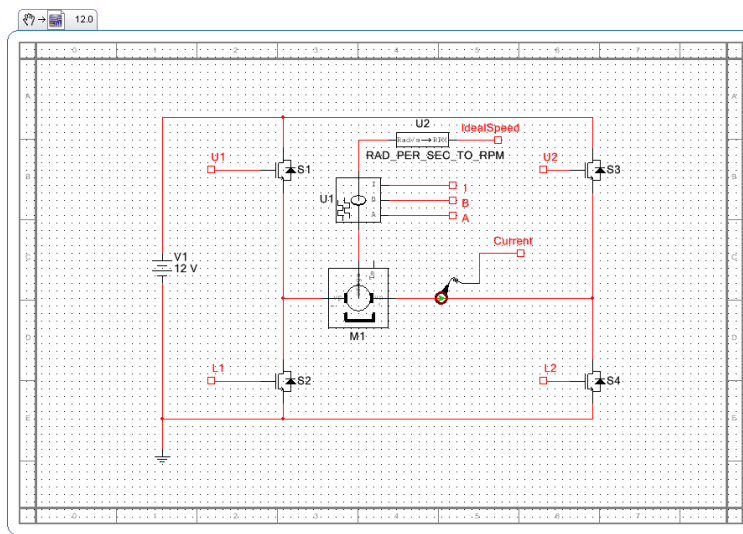


图 4. 使用通用 MOSFET模型的 模拟电路图

HB/SC接线端定义 义为LabVIEW 联合仿真的输入与输出 端口。表1是从 Multisim设计 中导出的电子表格：

LabVIEW 接口	正接口	负接口	模式	类型
Input				
U1	U1	0	Input	Voltage
L1	L1	0	Input	Voltage
U2	U2	0	Input	Voltage
L2	L2	0	Input	Voltage
Output				
IdealSpeed	IdealSpeed	0	Output	Voltage
Current	Current	0	Output	Voltage
A	A	0	Output	Voltage
B	B	0	Output	Voltage
I	I	0	Output	Voltage
Unused				

表 1. LabVIEW 联合仿真输入与输出接口信息

最后，Multisim设计会在LabVIEW中加载为一个控制设计与仿真模块。整个系统的仿真会基于LabVIEW图形化界面运行，LabVIEW会与后台运行的透明的Multisim进行定时的数据传送和交互。

数字控制设计

Multisim设计会被装载入LabVIEW中作为一个虚拟仪器，然后连接到不同的系统模块来构成完整的闭环反馈系统。参考LabVIEW技术资源[主页](#)来学习更多关于LabVIEW图形化编程及系统设计的基础知识。

图5的框图展示了系统的信号路径。

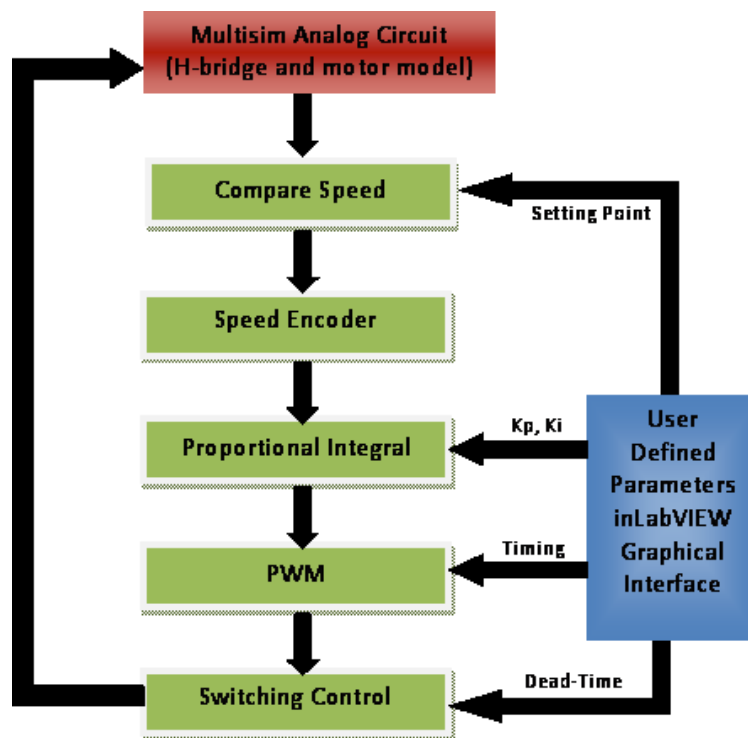


图 5. 系统框图

LabVIEW FPGA IP核

LabVIEW FPGA模块非常适合开发天生并行运行的FPGA硬件。另外，它还可以有效地对低级FPGA代码进行仿真，与直接编译FPGA数字相比可以节省很多时间。

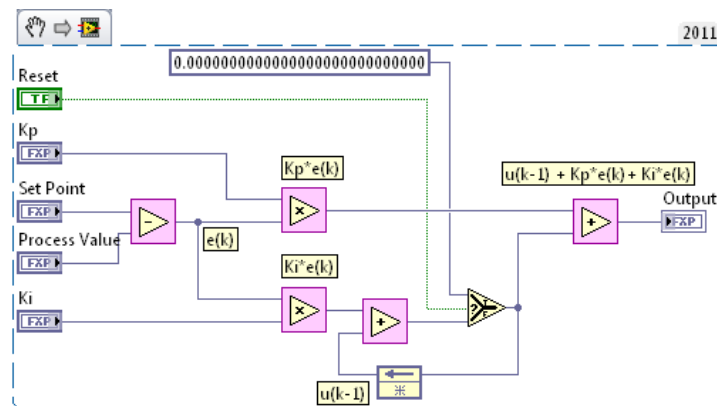
在传统的控制逻辑设计中，工程师开发出与模拟电路共享的嵌入式代码，但是逐渐地他们需要在系统级进行交互，这个通常很难实现同时的仿真。这种仿真能力的缺乏有可能导致开发出来的嵌入式逻辑并不能很好地支持模拟电路(例如，功率电路系统)，造成系统效率低于预期/设计指标。这将迫使开发者对算法进行调整并重新编译。

每一次代码的修改都会在编译和部署阶段造成时间的损失(一次简单的重新编译就可能花费你四小时的时间)。准确的结合模拟电路的联合仿真(可以由Multisim和LabVIEW提供)可以让你在制造原型或编译之前就了解系统整体的性能，所以可以减少原型化的迭代次数，节省开发时间和开发成本。

本设计中使用数字控制包括了四个LabVIEW FPGA IP核，如下图所示。

比例积分IP

在这段代码中，会根据用户提供的输入参数(K_p 和 K_i)按照比例积分控制算法计算输出值。



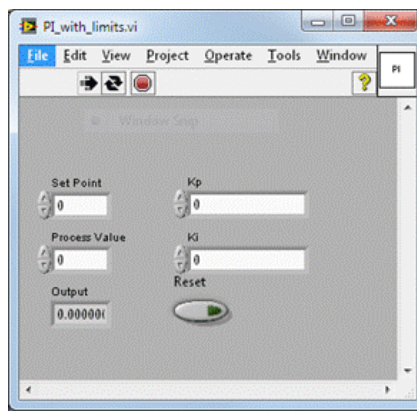


图 6. 比例积分模块框图和 界面

正交编码器IP

在下面的代码中，解码后表示了电机转速 (A,B和I) 的信号会被重新编码来还原真实的速度值，然后提供反馈给PI模块，以此决定电机的转速是过快还是过慢。 [了解更多关于正交编码器的信息。](#)

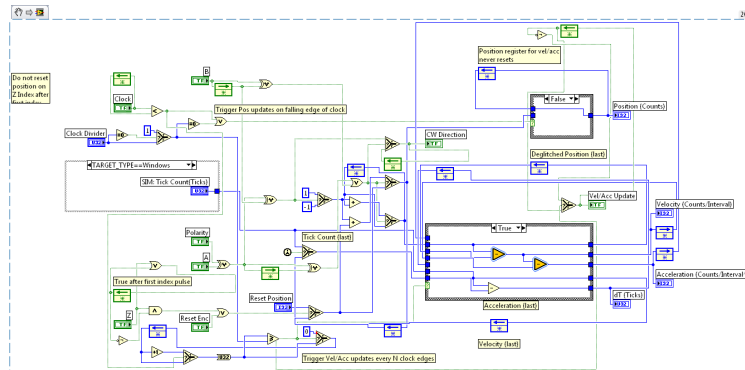


图 7. 正交编码器模块程序 框图和界面

PWM发生器IP

该代码模块接收用户 提供的时间输入和 PI控制模块提供的 反馈输入。

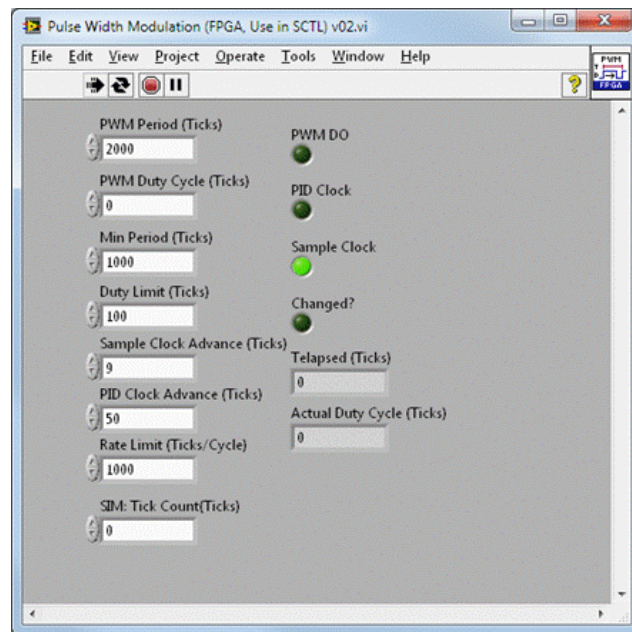
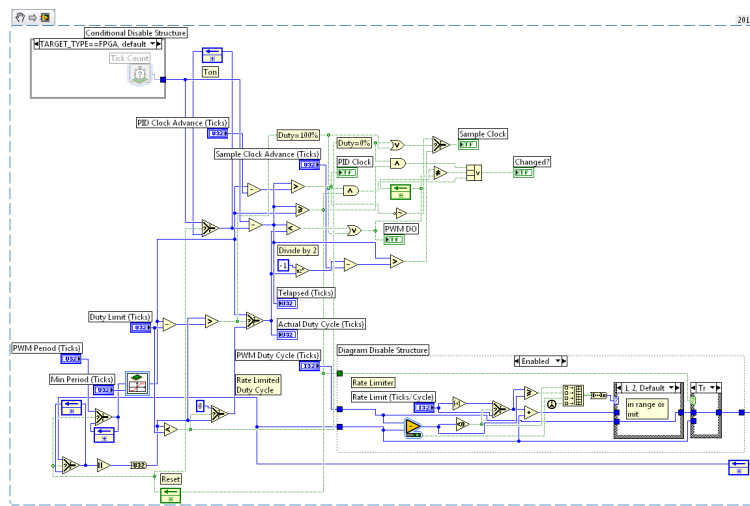
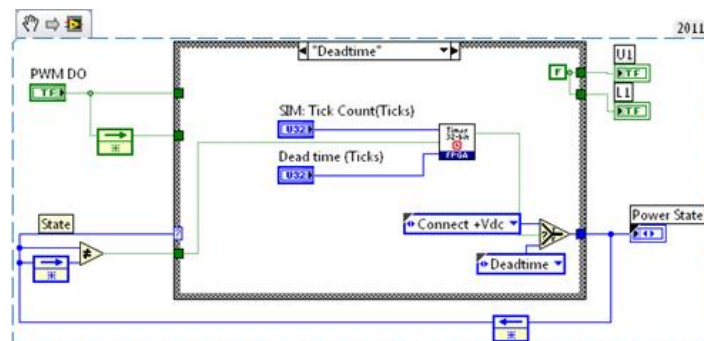


图 8. PWM控制模块程序 框图和界面

H-桥控制器IP

该IP模块将PWM 输出转换为4路 MOSFET的开关 信号，然后决定哪 一个对角元素是打开还 是关闭。它同时还接 收用户对 MOSFET死区时 间的设置输入。



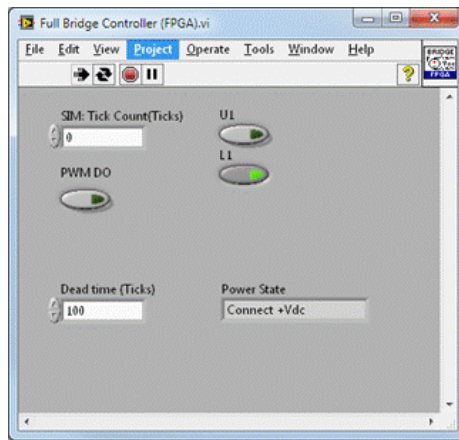


图 9. H-桥控制模块程序 框图和界面

完整系统架构

所有这些模块都放置 在一个控制与仿真循环 中，使用了预先设 置的固定步长。系统 可以以40MHz（250ns每步 长）的频率运行。另 外还开发了图形化用 户界面来监控系统信 号（如电机转速和 电流）。

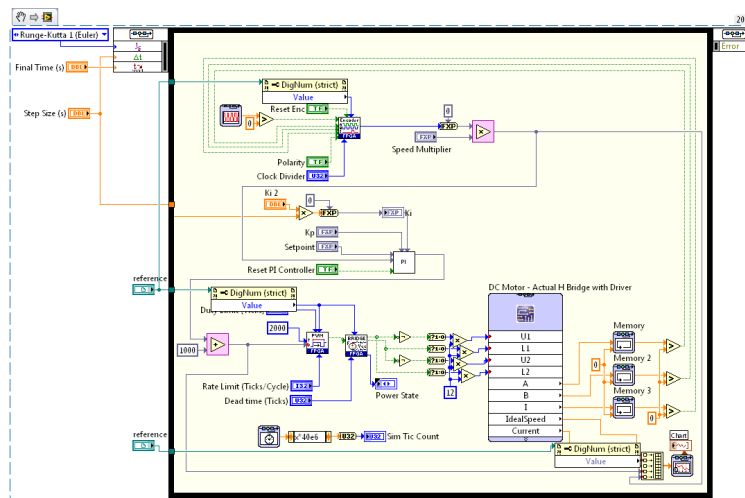


图 10. 本完整系统架构框图 包括了不同的 FPGA模块和 Multisim电 路设计

完成了模拟功率建模 和数字控制器设计之 后，使用联合仿真工 具对完整的系统进 行分析和优化。在联合 仿真环境下，Multisim和 LabVIEW同时 执行非线性的时域分 析，每一个时间步长 结束时两者交互数 据。另外，当 LabVIEW被配 置为使用可变步长解 算器之后，Multisim和 LabVIEW就可 以对未来的仿真步数 进行协调，这样就形 成了一个高度集成并 且精确的仿真。结果 就是两个工具都可以 加强运算的精度，即 使在两个解算器之间 有耦合的养分方程 的情况下，也可以保证 仿真结果准确可靠。

通过系统分析，可以 进一步观察到有刷直 流电机驱动系统的运 行性能。嵌入式 FPGA控制代码和 模拟对象模型中各个 变量都可以在联合仿 真的过程中观察到。 能够观察任何信号（例如， MOSFET/电机 中的电流/电压信 号，控制代码的死区 特征等）的功能让我 们可以对系统的连通 性有一个可靠的验 证，也能更深入地 了解系统的行为。¹

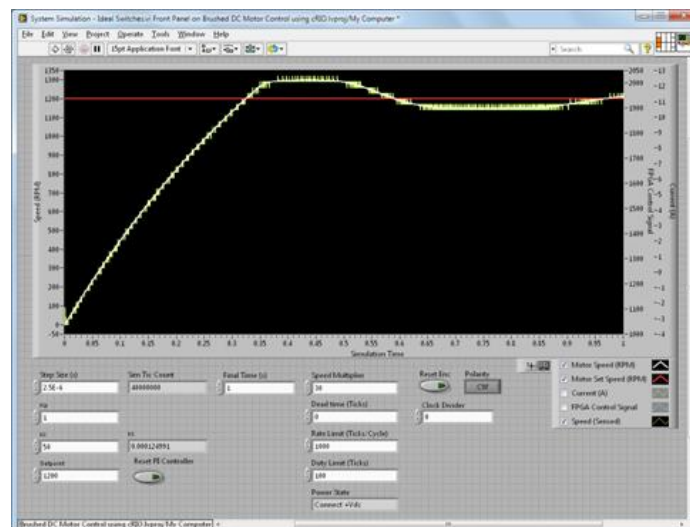


图 11. 在这个1秒的系统仿真中，电机转速从0 上升并稳定于 1200rpm，显示的信号包括设定转速(红色)，Multisim 传感器读取的转速(黄色)以及仿真过程中电机的真实转速(白色)。

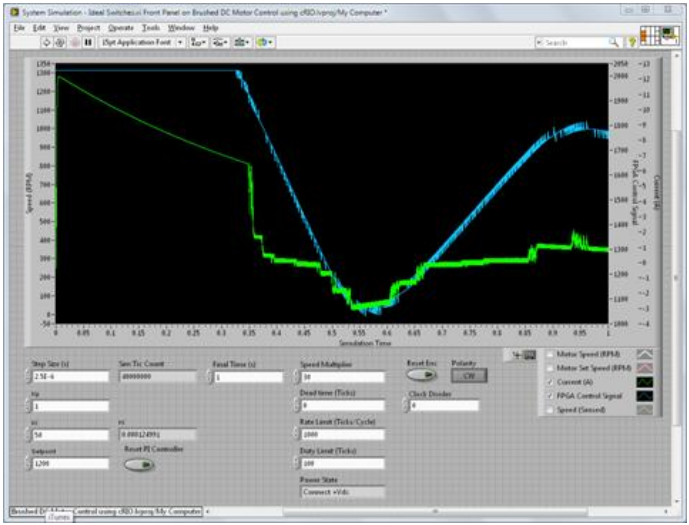


图 12. 仿真系统的 LabVIEW界面 显示了1秒的系统仿真时间，电机转速从 0 上升并稳定于 1200rpm过程中 从 Multisim读 取的电机电流信号 (绿色)和 LabVIEW给出 的FPGA控制信号 (蓝色)

结论

你可以联合 Multsim和 LabVIEW的仿真功能来为带有直流 有刷电机和相关电力 电子器件的机电一体化系统创建完整的桌面仿真，针对H-桥 进行模拟电路仿真，使用LabVIEW 实现数字控制模块仿真。点对点的仿真可以在系统设计的前期阶段对系统进行验证，帮助你决定最适合的元件，PI控制参数，H-桥驱动模式和系统监控方案。

法律条款
本教程由 National Instruments 公司 (简称 "NI") 开发。 尽管 National Instruments 可为该程序提供技术支持，但是该指南的内容并非完全通过测试和验证，NI不以任何方式保证其质量，也不保证相关产品或驱动程序的新版本出现时继续为其提供技术支持。本教程 仅以其“现状”向用户提供，教程没有任何担保。教程使用受 ni.com网站上 《使用条款》的约束。(<http://ni.com/legal/termsofuse/unitedstates/us/>)