

Weiterentwicklung eines dynamischen Turbinensimulators für die Prüfung von Turbinenreglern für Dampfturbinen

Eckart Brackenhammer, Siemens AG
Herbert Pichlik, SYSTEC GmbH



Bild 1: Simulator (links) mit Turbinenregler

Kurzfassung

Für die Prüfung von Turbinenreglern führte Siemens PG L119 im Jahre 2003 einen dynamischen Turbinensimulator ein, der seitdem verschiedene Turbinenreglertests mit Kundenbeteiligung absolvierte (Anfahren ausgewählter Anlagenzustände, Analyse und Auswertung der Reaktion des Turbinenreglers, etc.). Die zunehmende Akzeptanz dieser Reglerprüfung bei den Projektteams und den Kunden hat zu einem ständigen Einsatz des Pilot-Simulatorsystems geführt. Um in Zukunft auch parallel verschiedene Turbinenregler prüfen zu können, erfolgte der Beschluss, eine neue Simulatorsystemplattform wieder zusammen mit der Firma SYSTEC zu entwickeln. Einen sehr großen Anteil an der erfolgreichen Implementierung hatten das neue LabVIEW Simulation Module, die PXI-basierten FPGA-Karten und der Support der Firma National Instruments Deutschland.

Die neuen Alternativen im Komponentenbereich, das interdisziplinäre Know-How aller Beteiligten, die Erfahrungen mit dem Pilotsystem und das Feedback aus der Praxis leisteten entscheidende Beiträge für die Definition von neuartigen Testsystemen für Turbinenregler und -schutzsysteme.

Abstract

In order to test turbine controllers, Siemens PG L119 introduced a dynamic turbine simulator in 2003. Different customer tests like simulating lots of system situations and the analysis of reactions of the turbine control system lead to an increasing acceptance resulting in a permanent use of the dynamic turbine simulator. Customer needs (concurrent use of simulators, faster responses, more I/Os) forced Siemens PG to develop a new generation of simulators together with the National Instruments Alliance Partner SYSTEC. The implementation success was mainly founded on the new LabVIEW Simulation module, the power of PXI based NI FPGA plug in boards, and the excellent support of National Instruments Germany. New component alternatives, interdisciplinary know how of all involved persons, system experience and the customer feedback proved to be very helpful developing test systems for turbine controllers and turbine protection systems of a new kind.

Einleitung

Für die Prüfung von Turbinenreglern ist bereits seit einem Jahr ein dynamischer Turbinensimulator bei Siemens PG im Einsatz.

Auf Grund der großen Auslastung und der Einschränkungen des ersten Simulators kam man um die Entwicklung einer neuen Simulator-Systemgeneration nicht mehr herum.

Mit dem jetzt zusätzlich einsetzbaren hochperformanten Systemen sind parallel Prüfungen von verschiedenen Turbinenreglern durchführbar. Bei der Neuentwicklung gelangte wiederum ein PXI-System mit Realtime Controller (NI PXI-1042 + CPU PXI 8176) zum Einsatz. Um die Rechnerleistung des Echtzeitsystems für die Modellberechnungen zu erhöhen, griff man allerdings auf FPGA-Karten (NI PXI-7831R) zurück, da diese eine schnelle parallele Verarbeitung der Signalein- und -ausgabe ermöglichen, und das Echtzeitsystem erheblich entlasten.

Auch die Signalkonditionierung erhielt ein zeitgemäßes Update durch speziell konfektionierte Platinen. Bezüglich Anschlusstechnik wurde der Verkabelungsaufwand durch den Einsatz von 50-poligen Sub-D-Steckern minimiert. Mini-Bananenbuchsen sind jedoch weiterhin unter anderem zur schnellen Fehlersuche vorhanden.

Im Bereich der Modellentwicklung kamen verschiedene Bausteine des neuen LabVIEW Simulation Moduls zum Einsatz. Mit diesem Modul und seinen Funktionen, welche speziell auf die Anwendung von Simulationsaufgaben ausgelegt sind, vereinfacht sich die Modellerstellung insbesondere, wenn bereits diverse Modellausschnitte aus vergleichbaren MATLAB/Simulink-Modellen vorliegen. Diese sind direkt nach LabVIEW übersetzbar.

Aufgabenstellung

Die Hauptaufgabe des Systemes besteht darin Dampfturbinenregler und -schutzsysteme effizient zu prüfen.

Um auf die Spezifika der verschiedenen Reglertypen und Schutzsysteme eingehen zu können, erarbeitete Siemens PG folgende Simulator-Basispezifikation (entnommen aus dem Lastenheft):

- Mindestens 24 analoge Eingänge
- Mindestens 56 analoge Ausgänge
- Mindestens 24 Binäreingänge
- Mindestens 24 Binärausgänge
- Mindestens 8 Impulsausgänge für Rechtecksignale von 1 Hz bis 10 kHz
- Zykluszeiten kleiner 2ms
- Datenloggerfunktionalität mit einstellbaren Zeitschritten von 10ms bis 1s zur Aufzeichnung von Prüfvorgängen
- Echtzeit-Verhalten
- Mobile Einsatzfähigkeit, d.h. gut transportier- und schnell anschließbar
- Modulare Programmierbarkeit

Hardwarekomponenten des neuen Simulator-systems

Damit das Gesamtsystem möglichst kompakt, transportabel und robust ist, entschied man sich für ein extra tiefes 19“-basiertes Rack der Firma Schroff mit integriertem PXI Echtzeitsystem.

Die Visualisierung und die Programmierung der Realtime- und FPGA VIs erfolgt über den Host-PC, einem Notebook der Firma Siemens-Fujitsu. Die beiden nachfolgenden Bilder zeigen den Simulator von der Frontseite und als Schnitt durch die Längsseite. Das PXI-System ist komplett gekapselt. Hinter den jeweiligen kundenspezifischen Frontplatten befinden sich speziell entwickelte Signalkonditionierungs-module. Zusammen mit den Signalverteilungssystemen ergibt sich ein äußerst flexibles System mit intuitiver Bedienbarkeit.



Bild 2: Simulator Front

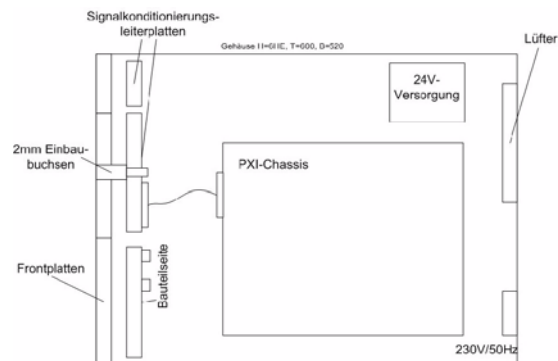


Bild 3: Simulator Details

Echtzeitsystem

Aufgrund der guten Erfahrungen mit dem PXI-System des Pilotsimulators entschied man sich bei der neuen Generation wieder für ein NI PXI-1042-Chassis (mit leisem Lüfter) und einen NI PXI-8176 Real-time Controller mit dem Echtzeitbetriebssystem PharLap.

Um Speicherprobleme auszuschliessen erfolgte eine Verdoppelung desselben auf 256MByte.

I/O-Karten

Erfahrungen mit dem Vorgängersystem haben gezeigt, dass die Treiber für die traditionellen I/O-Karten von NI einen erheblichen Anteil an Rechenzeit benötigen, so dass bei Erweiterungen des komplexen Turbinenmodelles die Grenzen der Prozessorleistung überschritten worden wären.

Die Verwendung von FPGA-Karten (PXI) von NI führte zu erheblich performanteren Simulationsberechnungen und schafften in diesem Fall elegante Abhilfe. Zusätzlich bieten die FPGA-Karten den Vorteil, dass sie die analogen Ein- und Ausgänge parallel mit einer Taktzeit von minimal 25ns einlesen bzw. ausgeben können. Die neuen FPGA-Karten besitzen jeweils 8 analoge Ausgänge, 8 analoge Eingänge und 96 binäre Kanäle, die entsprechend als binärer Ein- oder Ausgang oder auch als Impulsausgang konfigurierbar sind. Die Programmierung erfolgt sehr anwenderfreundlich mittels einer zusätzlichen Toolbox in LabVIEW. Bei der Programmierung ist allerdings zu berücksichtigen, dass nur Integeroperationen ausgeführt werden können. Dies führt zu einem erträglichen Overhead bei der Konvertierung in Fließkommazahlen.

Die Umsetzung des Programmes für die FPGA-Karten von LabVIEW in einen VHDL-Code erfolgt benutzergesteuert über die LabVIEW-Umgebung. Durch die gute Benutzerführung ist auch ein bezüglich VHDL ungeübter Programmierer in der Lage, die Karten zu konfigurieren und effizienten Code zu generieren.

Die Anwendung nutzt derzeit die FPGA-Karten nur als I/O-Karten, eine Auslagerung von Unterprogrammen des Simulationsmodelles auf die FPGA-Karten wurde nicht realisiert.

Um den Simulator in Zukunft auch für Turbinenschutzprüfungen nutzen zu können, benötigte man zusätzliche analoge Ausgänge. Da für die Turbinenschutzprüfung die Anforderung bezüglich der zeitlichen Bearbeitung deutlich geringer sind, fiel die Entscheidung auf eine DAQ-M-Series-Karte von NI mit 32 analogen Ausgänge. Diese Karte, die Ausgangspegel von 0-10V und eine Auflösung von 12 Bit besitzt ist für den Einsatz für Turbinenschutzprüfungen völlig ausreichend, da in diesem Anwendungsfall nur statische Signale an das Turbinenschutzsystem auszugeben sind.

Signalkonditionierung

Aufgrund verschiedener Signalpegel der zwischen Dampfturbinenregler und Simulator ausgetauschten Analogsignale, sind diese zunächst jedoch anzupassen. Der Dampfturbinenregler liefert +/-20 mA Signale an den Ausgängen und benötigt 4-20mA Signale an den Eingängen. Darüber hinaus sind für die Drehzahlmessung 8 Rechteck-Signale im Bereich 0-10 kHz erforderlich. Die FPGA-Karten arbeiten mit

einem Signalpegel von 0-5,5V und die DAQ-M-Series-Karte mit einem Signalpegel von 0-10V. Für die Signalkonditionierung entwickelte die Fa. SYSTEC kundenspezifische Platinen, die eine sichere und performante (große Bandbreite) Signalaufbereitung und die Signalverteilung sicherstellen.



Bild 4: Signalverteilung und -anpassung innerhalb des 19"-Racks

Anschlusstechnik der Signalverkabelung zwischen Simulator und Prüfling

Für die Kabelanschlüsse am Simulator sind auf der Front für jeden Ausgangskanal zwei Mini-Bananenbuchsen vorgesehen. Diese Anschlusstechnik hat sich im bisherigen Simulatoreinsatz bewährt, da damit bezüglich der Signalanschlüsse am Prüfling (Turbinenreglerschrank, Turbinenschutzschrank) eine sehr hohe Flexibilität gewährleistet ist. Sie hat aber auch den Nachteil, dass der Verkabelungsaufwand recht hoch ist. Als Neuerung gegenüber dem Pilotsystem erhielten die Simulator-Frontplatten parallel zu den Mini-Buchsen sechs 50-polige Sub-D-Stecker. Damit ist es möglich, 25 Signale (differentiell) in einem Kabel unterzubringen. Um alle Signale zwischen Prüfling und Simulator zu verteilen, sind dadurch nur noch sechs 50-polige Kabel notwendig. Auf der Seite des Prüflings werden dann die Kabelenden auf der Klemmleiste des Elektronikschrankes (Turbinenregler- oder Turbinenschutzschrank) aufgelegt.

Runtime Environment

Nachfolgend Ablaufumgebung kurz beschrieben, die die Ansteuerung der HW-Kanäle verwaltet, die Bedienschnittstelle über ein Notebook als Host-Rechner aufbaut und die Einbettung verschiedener Simulationsmodelle ermöglicht.

Um die Echtzeitfähigkeit des Simulators sicherzustellen, ist es erforderlich, die HW-Karten zu takten. Eine FPGA-Karte (NI PXI-6052E) gibt über den Backplane-Bus (RTSI) ein Taktsignal an die anderen FPGA-Karten weiter, um diese entsprechend zu triggern. Das gleiche Taktsignal stößt auch die Rechenschleife des Simulationsmodells an. Das Taktsignal wird im Programm festgelegt (z.B. 500 Takte/s = 2ms) und triggert dort eine sogenannte Timed Loop. Wenn die Echtzeitprüfung Fehler erkennt, so ist

diese Timed Loop zur Echtzeit anpassbar. Durch das Takten der FPGA-Karten und der Rechenschleife des Simulationsmodells erfolgt ein exaktes Scheduling entsprechend der Reihenfolge und der Ablaufzeit.

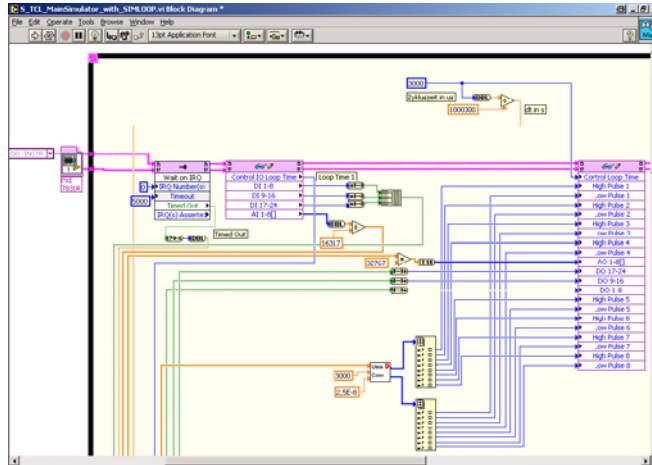


Bild 5: Takten der HW-Baugruppen

Der Simulator besteht aus 2 getrennten Programm- und Rechnersystemen. Das erste System ist das PXI-Echtzeitsystem mit NI PXI-8176 Controller und dem Echtzeitbetriebssystem, auf dem das Modell gerechnet wird. Das zweite System ist ein Notebook (Host) mit Windows2000-Betriebssystem und der LabVIEW 7-Installation, auf dem die Bedienoberfläche sowie die Berechnung der Modellparameter realisiert ist. Die Verbindung vom Echtzeitsystem zum Host erfolgt über eine TCP/IP-Verbindung (Ethernet10/100). Vom Host (Notebook) wird das Simulationsprogramm auf das Echtzeitsystem heruntergeladen und anschließend, nach einem Wechsel des Zielsystems vom Echtzeitsystem zum Hostsystem (Windows2000), die Bedienoberfläche des Simulators gestartet.

Für den Betrieb des Simulators ist es erforderlich Daten zwischen dem Host sowie der HW-Schnittstelle und dem zeitkritischen Programmteil im Echtzeitsystem auszutauschen. Um diesen Datenfluss zwischen nicht-zeitkritischen und zeitkritischen Programmteilen ohne Behinderungen des zeitkritischen Programmteils zu gewährleisten, erfolgt die Datenleitung über sogenannte RT-FIFO's. Über diese RT-FIFO's werden Signale zwischen Modell und Bedienoberfläche und HW-Schnittstelle ausgetauscht und das Modell mit Parametern versorgt, die im Host aus der Geometrie und Angaben aus dem thermodynamischen Schnittbild der Turbinen errechnet werden.

Über die Bedienoberfläche kann der Bediener verschiedene Betriebszustände wie z.B. Kesselleistung oder Synchronisieren des Generators mit dem Netz vorgeben. Gleichzeitig erhält der Bediener Anzeigen bezüglich des eingestellten Betriebszustandes sowie der wichtigen Prozessgrößen, wie z.B. Turbindrehzahl, Druck vor Turbine oder Öffnung der Turbinenstellventile.

Zusätzlich sind auf der Bedienoberfläche Diagramme aufrufbar, die diese Prozessgrößen sowie die Stellgrößen des Turbinenreglers über der Zeitachse darstellen (Excel Datei). Anhand dieser Diagramme erfolgt die Analyse der Reglerfunktion.

Das Starten und Stoppen der Simulation, sowie die Vorgabe der Taktrate ist natürlich ebenfalls von der Bedienoberfläche aus möglich.

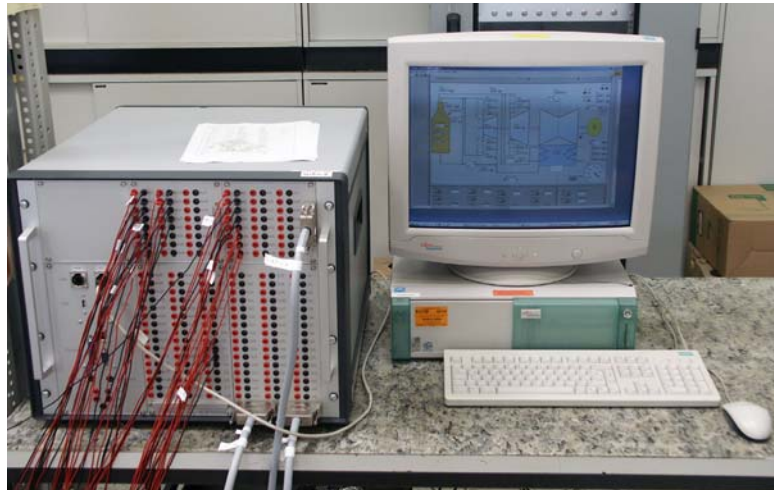


Bild 6: Echtzeit- und Hostsystem

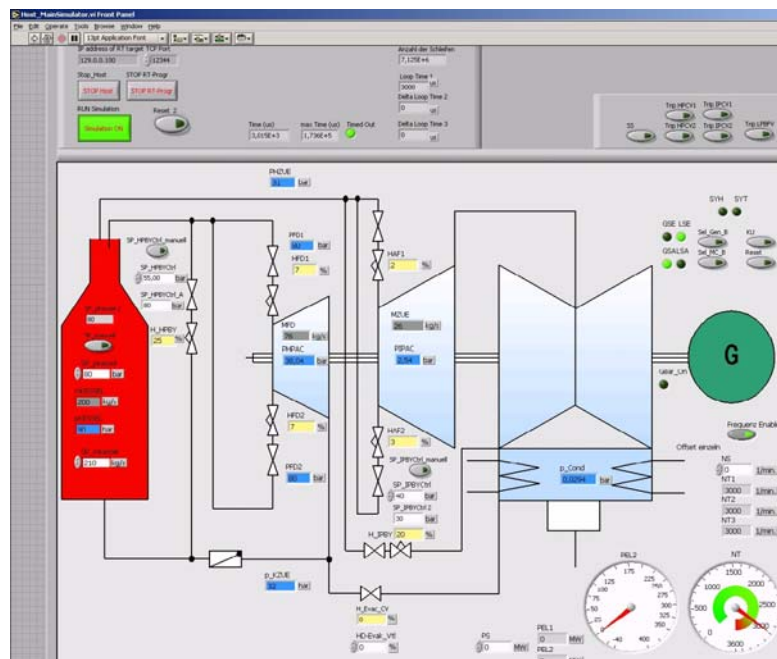


Bild 7: Bild 7: Bedienoberfläche des Simulators

Erstellung eines modular aufgebauten Simulationsmodells

Um die Struktur des Modells und der Funktionen bezüglich HW-Signalein- und -ausgang und der Kommunikation zwischen Host und Echtzeitsystem übersichtlich zu halten, und eine einfache Anpassung an die verschiedenen Turbinenmodelle zu ermöglichen, wurde ein strikt modularer Aufbau verfolgt. Dies ist besonders wichtig unter dem Aspekt, dass der Simulator von einem größeren Anwenderkreis genutzt wird, der einfache Änderungen und Anpassungen ohne tiefere Kenntnisse von LabVIEW 7 durchführen können soll.

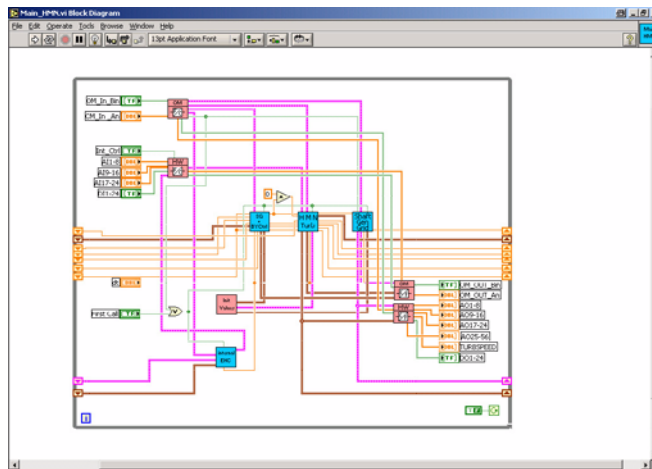


Bild 8: Übergeordnetes Modell-VI



Bild 9: Hierarchische Struktur des Turbinenmodells

Einsatz des LabVIEW Simulation Moduls

Für die Modellerstellung unterstützten externe Siemens Simulationsabteilungen. Diese setzen für die Modellerstellung häufig MATLAB/Simulink ein. Bei der Entwicklung des Turbinenmodelles standen MATLAB/Simulink-Teilmodelle zur Verfügung, die eine Konvertierung in LabVIEW erfahren haben. Ein neuer Ansatz dafür war die Verwendung des LabVIEW Simulation Moduls, das von der Darstellungsweise ähnlich wie MATLAB/Simulink aufgebaut ist. Zusätzlich bietet es die Möglichkeit über die Parametrierung der Simulationsschleife verschiedene Simulationsparameter wie Schrittweite und Anfangswerte vorzugeben und sogar von einfachen Integrationsverfahren wie z.B. Euler auf höherwertige wie z.B. Runge-Kutta 4. Ordnung umzustellen. Dadurch sind numerische Instabilitäten bei sehr zeitkritischen Teilmodellen verhinderbar, was zu einem wesentlich stabilerem System führt.

Fazit und Ausblick

Umfangreiche Tests mit der neuen Simulationsplattform haben eindeutig gezeigt, dass die gestellten Anforderungen hinsichtlich Performance (das gesamte Prozessmodell wird in 2 ms gerechnet!) und Handling (Änderungsprojektierung, Projektierung), Robustheit, Stabilität, Wartbarkeit, Erweiterbarkeit und Preis-/Leistungsverhältnis erfüllt sind.

Mit Erweiterungen der beschriebenen Technologie sind neue Anwendungsfälle denkbar.

Referenzen

[1] www.lvug.de

[2] www.ni.com

[3] www.systec-gmbh.com

[4] Rahman Jamal, Herbert Pichlik, „LabVIEW Applications and Solutions“, Prentice Hall 8/98