

Ein flexibles Testsystem für automatische Hardware-in-the-Loop - ECU - Tests für Hydrauliksteuerungen

Jan Bendixen¹⁾, Malte Krebs¹⁾, Dr. H.-J. Meyer²⁾, Klaudius Pinkawa²⁾

¹⁾ Sauer-Danfoss GmbH & Co. OHG, Neumünster, ²⁾ A.M.S. Software GmbH, Quickborn

Zusammenfassung

Sauer-Danfoss entwickelt und produziert unter anderem Steuergeräte (Electronic Control Units (ECU)) zur Ansteuerung der verschiedensten Hydraulikkomponenten für den Einsatz in mobilen Maschinen aller Art. Diese Steuergeräte zeichnen sich durch einen modularen Aufbau mit einer großen Anzahl unterschiedlichster I/O-Pins zum Anschluss der Hydraulik-Sensoren und -Aktoren sowie eine Firmware aus, die über ein API und eine CAN-Schnittstelle für eine kundenspezifische Applikation grafisch programmiert werden kann. Selbst die I/O Pins können über diesen Weg programmatisch in ihrer Funktion konfiguriert werden.

Mit A.M.S. wurde ein Testsystem entwickelt, das einen automatischen und vollständigen HIL-Test der am Sauer-Danfoss Standort Neumünster entwickelten Steuergeräte-Firmware ermöglicht. Die Test-Hardware basiert auf einem modularen PXI-System von National Instruments, in dem die Messgeräte und das CAN-Interface zusammen mit Matrix- und Switch-Modulen integriert sind. Über das Kernstück, eine 512 Cross Point Matrix, können bis zu 42 I/O Pins des Prüflings mit bis zu 22 Eingängen bzw. Ausgängen der Messgeräte-Module programmatisch verbunden werden. Da bestimmte Output-Pins des Prüflings bei Belastungen getestet werden müssen, die Stromstärken von mehreren Ampere erzeugen, wurde parallel zum Matrix-Anschluss ein Hochstromkreis über entsprechend ausgestattete PXI-Switch-Module integriert.

Die Test-Software wurde auf Basis von LabVIEW realisiert. Sauer-Danfoss stellte dafür eine LabVIEW-DLL für die CAN-Kommunikation mit dem Controller zur Verfügung. A.M.S. setzte für die Test-Software ihr APAS-Prüfsystem ein, dessen Ablaufsteuerung auf ihrem LabVIEW Script Interpreter AMSL basiert. Im APAS werden die Tests mit Testjobs (Scripte), Parametertabellen und LabVIEW-Treibern modular aufgebaut, so dass sie bei Änderungen und Erweiterungen leicht modifiziert werden können. Der erste Einsatz dieses Systems für den Test der PLUS+1-Controller-Familie hat die Anwender durch seine Effektivität und Flexibilität überzeugt.

Abstract

Sauer-Danfoss develops and produces beside other products electronic control units (ECU) for controlling hydraulic components to be used for applications in many different types of mobile machines. These controllers have the distinction of a large number of different I/O pins for the connection of hydraulic sensors and actors in a modular way. In addition a distinctive firmware is part of it which can be programmed graphically for specific user applications via an API and a CAN interface. Even the I/O pins can be programmatically configured that way for different functions.

Together with A.M.S. a test system has been developed which allows for an automatic and entire HIL test of the controller firmware developed in the Sauer-Danfoss location Neumünster. The test hardware is based on a modular PXI system of National Instruments which integrates the measurement modules and the CAN interface as well as an assembly and matrix and switch modules. The heart of the test system is the 512 cross point matrix module which enables the programmatic connections of 42 controller I/O pins with 22 inputs or outputs of the measurement units. As certain outputs of the controllers have to be tested with loads up to several Amperes a high current circuit based on PXI switch modules had to be implemented in parallel to the matrix connections.

The test software is mostly based on LabVIEW. The company Sauer-Danfoss developed a LabVIEW-DLL for the communication with the controllers via the CAN interface. The company AMS utilized its test software system APAS which in turn uses its LabVIEW script interpreter AMSL for the implementation of test sequences. Tests within APAS consist of parameter lists, test jobs (scripts) and LabVIEW drivers. This modular system is best suited for easy changes and extension of the test software. First experiences with the application of the test system for the PLUS+1 controller family convinced the users by its effectiveness and flexibility.

Einleitung

Bei der Fa. Sauer-Danfoss ist für den Einsatz von Hydrauliksteuergeräten (ECUs) in mobilen Maschinen aller Art eine Controller-Familie (siehe nächster Abschnitt) entstanden, deren Mitglieder mit derselben universellen Firmware ausgestattet sind. Bisher wurde der Test der Firmware durch Abarbeitung einer Testspezifikation manuell betrieben. Das hier beschriebene Testsystem dient primär zum automatischen und vollständigen Test dieser Firmware (Kernel-Software), unter Nutzung der vorhandenen API-Schnittstelle in Form einer LabVIEW-DLL.

Die Schnittstellen dieser Controller-Familie können neben der Stromversorgung und der CAN-Schnittstelle z.Zt. bis zu 78 I/O-Pins enthalten (das aktuelle Testsystem ist für die Aufnahme von bis zu 88 I/O-Pins ausgelegt). Besonders sind sog. Multifunction (MF)-Pins zu berücksichtigen, deren Bedeutung programmatisch über das API geändert werden kann.

Der Hauptanforderungen an die Test-Hardware und Test-Software liegen in der Flexibilität, d.h. in einfachen Test-Adaption unterschiedlicher Controller, sowie in der Vollständigkeit und Automatik, womit der Tests aller I/O-Pins inklusive des Negativtests innerhalb der I/O-Typ-Gruppen zu verstehen ist.

PLUS+1 Produktfamilie von Sauer-Danfoss

Die Familie der PLUS+1 Maschinen-Management-Produkte reicht von Fahrzeugsteuergeräten über grafische Display-Terminals bis hin zu Bedieneinheiten wie Joysticks. Die verschiedenen Geräte wurden entwickelt, um flexible, erweiterbare, leistungsfähige und dabei kosteneffektive Komplettlösungen für die Steuerung von sog. „off-highway vehicles“ wie z.B. Traktoren, Mähdreschern oder Bulldozern zu ermöglichen.

Bei der Entwicklung von Hard- und Software der PLUS+1-Produkte wird größter Wert auf einen modularen Aufbau der einzelnen Funktionsgruppen gelegt (Bild 1). Der große Vorteil dieses modularen Konzepts liegt in der einfachen Wiederverwendbarkeit von Schaltungsteilen und Software-Treibern für gleiche Funktionsgruppen in unterschiedlichen PLUS+1 Produkten. So haben z.B. digitale Ausgänge auf verschiedenen Steuergerätetypen absolut identische elektrische Eigenschaften und können in einer Steuersoftware auf gleiche Weise angesprochen werden.

Ein weiteres signifikantes Merkmal der PLUS+1 Produkte ist die große

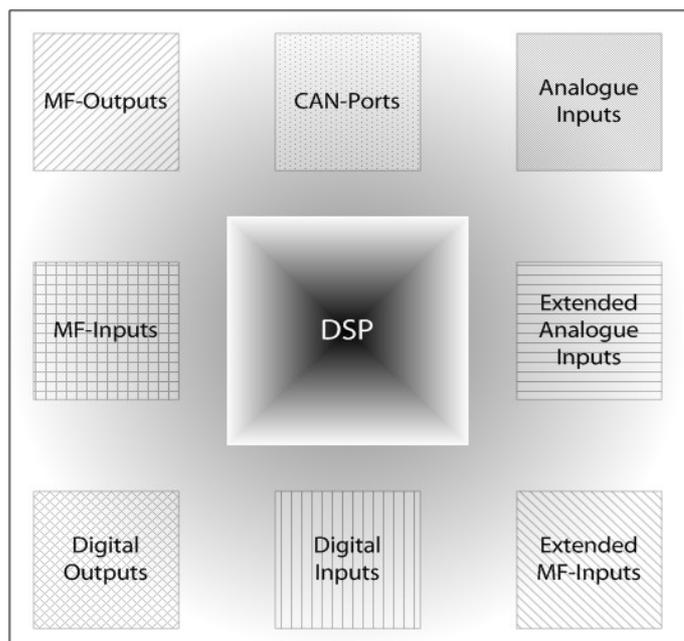


Bild 1: modulare Struktur von PLUS+1 Steuergeräten

Funktionsvielfalt einzelner I/O-Funktionsgruppen. Beispielsweise kann ein typischer Eingang als digitaler oder analoger Eingang (Spannungs-, Strom- oder Widerstandsmessung), als Pulszähler oder als Frequenz- und Duty-Cycle-Messeingang konfiguriert und verwendet werden. Dabei lässt sich zusätzlich durch software-gesteuertes Hinzu- oder Wegschalten von Pullup- bzw. Pulldown-Widerständen die am besten zur Anwendung passende elektrische Eigenschaft des Eingangs festlegen.

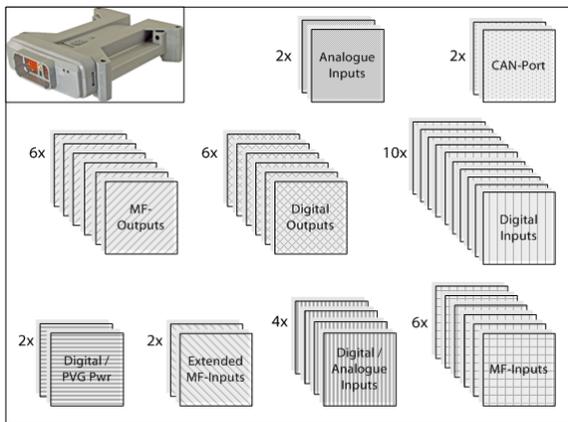


Bild 2: MC50-20 (24 Eing. / 14 Ausg. / 2 CAN)

Für ausreichend Rechenleistung sorgt in den Steuergeräten ein mit 150 MHz getakteter digitaler Signalprozessor (DSP) der TMS320-Familie von Texas Instruments. Die Steuergeräte sind weiterhin mit einem oder zwei CAN-Ports ausgestattet und lassen sich mit der grafischen Programmierumgebung PLUS+1 GUIDE von Sauer-Danfoss ihrem Anwendungszweck entsprechend auf einfache und effiziente Weise programmieren (www.sauer-danfoss-plus1.com).

Bild 2 zeigt das Beispiel eines Steuergeräts der PLUS+1 Familie mit seinen spezifischen Ein- und Ausgangstypen.

Aufbau des Testsystems

Das Testsystem besteht aus der Testhardware und der Testsoftware. Die Anforderungen an das Testsystem führten zu einem komplexen und komprimierten Testaufbau der Hardware und zu einem modularen Aufbau der Testsoftware. Beides wird in diesem Abschnitt beschrieben.

Hardware

Die Testhardware ist in einem 19"-Schaltschrank integriert (Bild 3). Sie besteht aus den Hauptkomponenten Test-PC, Power Supply, PXI-System, I/O-Terminal-Adapter und Resistor/Coil Array.

Auf dem Test-PC läuft die Testsoftware, die über die PCI-Bridge MXI4 das PXI-System und über die serielle RS232-Schnittstelle das Power Supply kontrolliert. Das PXI-System beinhaltet die Messgeräte, die 8x128-Schaltmatrix, die Power Switches und den CAN-Controller. Das Resistor/Coil-Array enthält leistungsstarke Widerstände und Spulen, die zur Belastung der DUT-Outputs mit hohen Strömen dient. Das I/O-Adapter-Terminal stellt den Anschluss und die Verbindung zwischen dem DUT und der Testhardware her.

Das Adapter-Terminal enthält eine Platine mit zwei Deutsch DRC-50-Steckern, deren Pins mit den Messgeräten der Matrix und den Power Switches fest verkabelt sind. Das DUT wird über speziell angefertigte Testkabel mit einem oder beiden DRC50-Steckern derart angeschlossen, dass sich die unterschiedliche Zuordnung der DUT-I/O-Pins zu den Messgeräten auf einfache Weise in der Testsoftware implementieren lässt.

Die zentrale Komponente der Testhardware besteht aus dem modularen PXI-System der Fa. National Instruments mit zusätzlichen Power Switch-Modulen der Fa. Pickering, das in dem Blockdiagramm (Bild 4) mit seinen wesentlichen Komponentengruppen und dem DUT-Anschluss über das Adapter-Terminal dargestellt ist.

Über das Adapter-Terminal werden die maximal zulässigen 88 I/O-Pins der DUTs der 8x128

geführt.
Software

Um die wesentlichen Testanforderungen nach Flexibilität, Vollständigkeit und Automatik zu erfüllen, wurde das APAS Prüfsystem für die Realisierung der Test-Software gewählt. Das APAS System besteht aus dem Hauptprogramm mit dem LabVIEW-Program Frame und dem AMSL-Script-Interpreter für LabVIEW sowie dem Dispatcher-Modul als Interface zwischen dem fest programmierten Hauptprogramm und den zur Laufzeit eingeladenen Treibern, Listen und Testscripts (Bild 5).

Außerhalb dieses Programmrahmens werden dann noch die Komponenten- und Herstellerspezifischen Hardware-Treiber sowie eine API-LabVIEW-DLL der Fa. Sauer-Danfoss für die Kommunikation über CAN mit dem DUT eingesetzt (das API ist gleichzeitig ein Diagnostic -Tool auf Basis des KWP2000-Protocols, über dessen Stack zwischen Produktion- und Test-Session umgeschaltet werden kann).

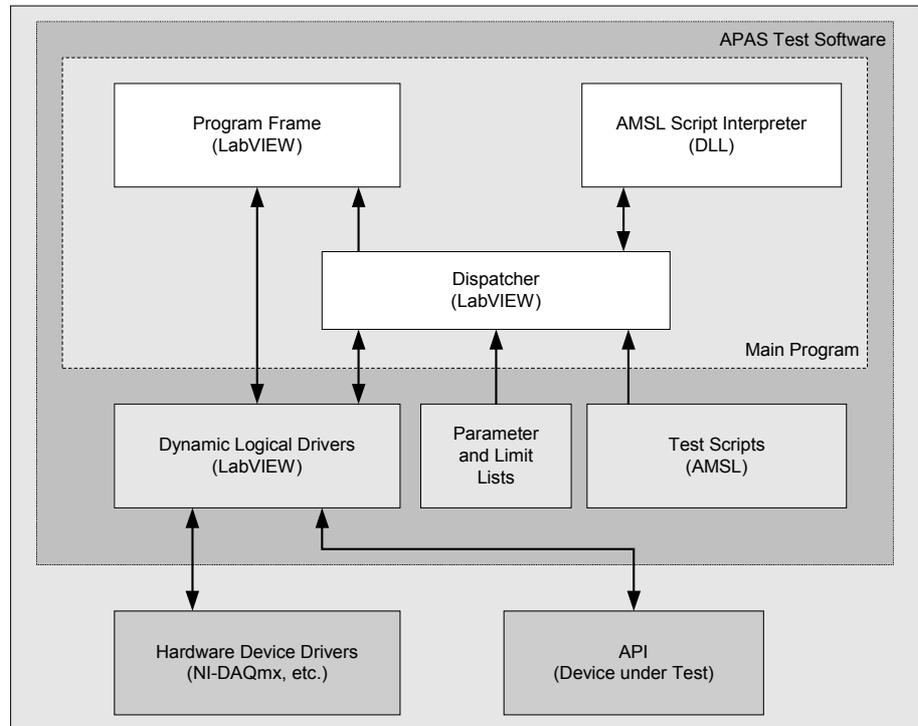


Bild 5: Architektur der APAS Test-Software

Der Programmrahmen dient zur Konfiguration, Visualisierung und Dokumentation der Tests. Die Parameter-Listen dienen zur Definition der I/O-Typen, deren Pin-Zuordnung sowie damit verbundener weiterer Messparameter. In den Limit-Listen werden die Grenzwerte für bestimmte I/O-Typen festgelegt.

Der Testablauf wird über die Testjobs, die mit einem spezifischen kontextsensiviten Editor erstellt und über den AMS-AMSL-Scriptinterpreter ausgeführt werden, realisiert. Die Testjobs sind in einzelne Tests für einen I/O-Pin Typ modularisiert und können sowohl manuell einzeln als auch durch einen übergeordneten Testjob automatisch ablaufen.

Die eigentlichen Testfunktionen sind in den Dynamical Logical Drivers implementiert, die zu jedem I/O-Pin-Typ die entsprechende Messung oder Stimulation ausführen. Ein zentraler Treiber ist für das Mapping der I/O-Pins (Variablen) des DUTs zu den Matrix- bzw. Power Switch-Anschlüssen

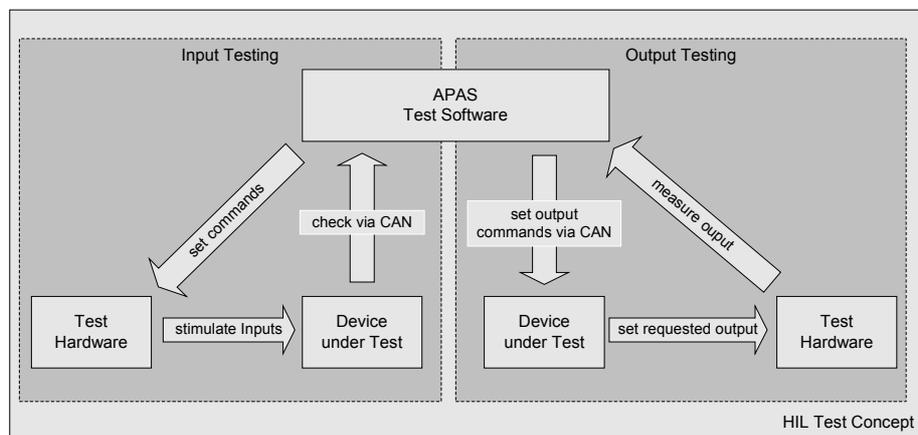


Bild 6: HIL Test-Konzept

zuständig, d.h. es existiert für jeden DUT ein eigener Treiber hierzu. Die jeweiligen Connections werden dann in den einzelnen Testjobs definiert.

Das Hardware-in-the-Loop (HIL)-Testkonzept wird in Bild 6 dargestellt. Es zeigt das unterschiedliche Zusammenspiel der Test-Software mit dem DUT für das Testen der Input- und Output-Pins jeweils unter Benutzung der Test-Hardware und der CAN-Schnittstelle.

Testdurchführung

In dem Hauptprogramm wird über den APAS-Test Editor der Test für einen Controller-Typ angelegt oder ein vorhandener ausgewählt (Bild 7). Die Testdurchführung wird durch Einstellung des Testjobs und der Listen festgelegt. Die Testjobs bestehen aus dem Main-Job für den Ablauf und den Stop-Job für den Abschluss und Dokumentation des Tests.

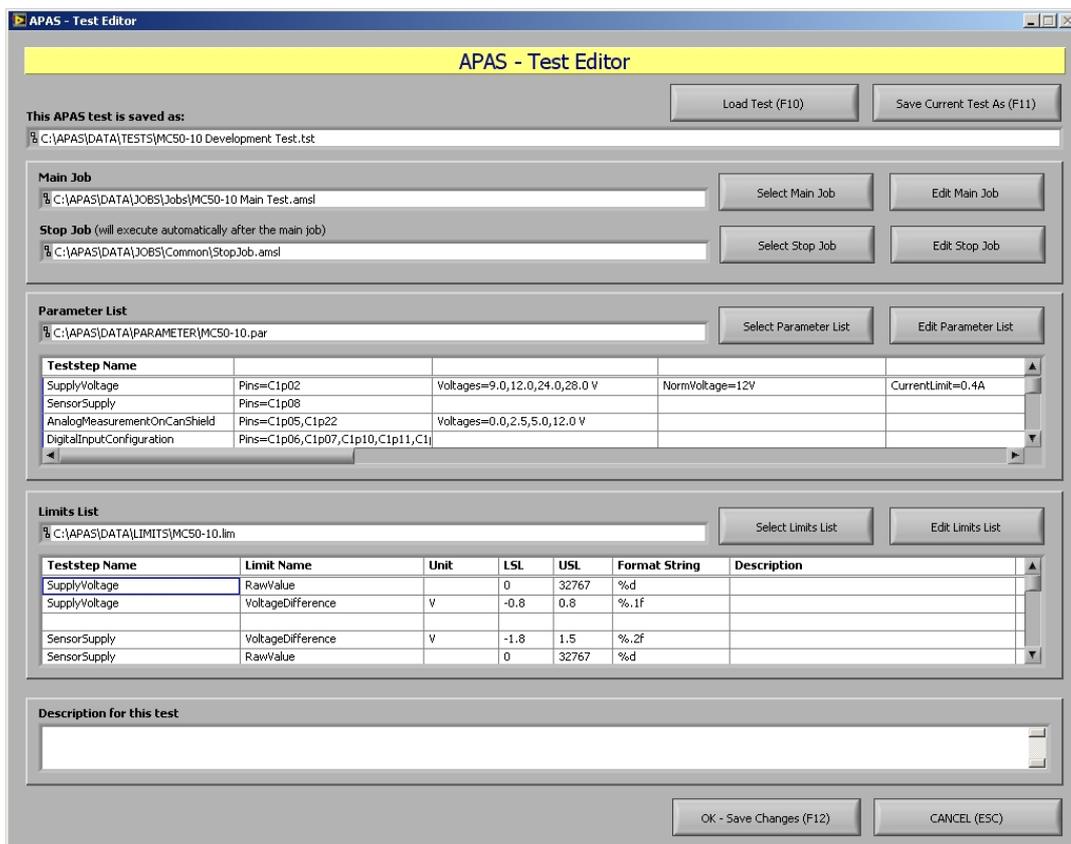


Bild 7: APAS - Test Editor

Die Listen können wie die Jobs über dieses Panel angelegt bzw. ausgewählt werden. In der Parameter List-Anzeige erkennt man die Zuordnung der Testnamen (entspricht den I/O-Typ bzw. dem logischen API-Variablennamen) aus den Testjobs zu den I/O-Pin-Bezeichnungen (entspricht den physikalischen Pins) und den dazugehörigen Messparametern. In der Limit List-Anzeige findet man die Referenzen für dieselben Testnamen mit unterschiedlichen Limit Namen, wie sie in den Testjobs benutzt werden können. Damit können z.B. sehr einfach einem Test-Typ unterschiedliche Grenzwerte zugeordnet werden.

Das Hauptpanel (nicht gezeigt) dient nur zum Starten des Tests, zur tabellarischen Anzeige der Testschritte und deren Testergebnisse sowie eine Statusanzeige über den Testablauf. Während des Testablaufs kann ein Visualisierungs- und Bedienungspanel (Bild 8) angewählt werden, das entweder den aktuellen Testschritt in Form der geschalteten Verbindung, sei es über die Matrix

(gezeigt) oder über die Power Switches (nicht gezeigt) in Form von aktuellen oder aufgezeichneten Messwerten darstellt oder in tabellarischer Form die Testergebnisse aller I/O-Pins anzeigt (nicht gezeigt). Der Test kann jederzeit angehalten und fortgeführt werden. Wichtig für den automatischen und vollständigen Test, der durchaus mehrere Stunden dauern kann, ist, daß fortlaufend das Ergebnis der einzelnen Tests angezeigt und protokolliert wird. Zum Abschluss wird das Gesamtergebn festgehalten und mit den Einzelergebnissen in tabellarischer Form gespeichert.

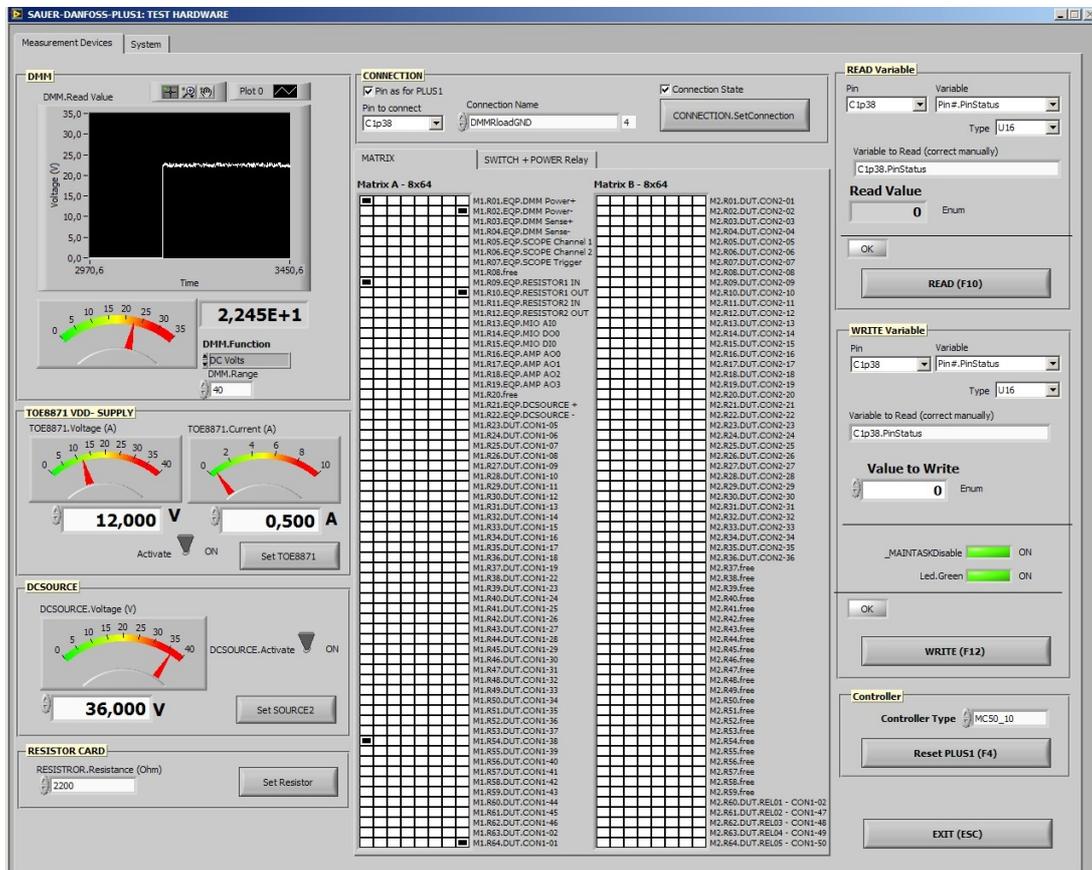


Bild 8: Matrix- und Switch-Test-Panel

Zusammenfassung und Ausblick

Das Testsystem wurde im Laufe des Jahres 2006 in einer ersten kleineren Version erstellt und mit Erfolg eingesetzt. Dort hat sich insbesondere die Flexibilität in dem Konzept der Test-Hardware bereits durch den Test der PLUS+1-Controller-Familie bis hin zu dem Typ mit maximal 50 I/O-Pins als sehr effizient erwiesen. Die neue automatische und vollständige Testmöglichkeit hat Probleme in der Controller-Firmware bzw. -Hardware nachgewiesen, die durch den manuellen Testaufbau bisher nicht entdeckt werden konnten und somit einen Beitrag zur Produktverbesserung leisten können. Der Einsatz des PXI-Systems und des LabVIEW-Entwicklungssystems von National Instruments haben maßgeblich zu diesem kompakten und effizienten Testsystem beigetragen.

Aufgrund der Erfahrungen wird das Testsystem z.Zt. quantitativ erweitert, um die neuen PLUS+1-Controller mit bis zu 88 I/O-Pins aufnehmen zu können. Gleichzeitig wird es qualitativ erweitert um auch andere Geräte aus dem Hause Sauer-Danfoss mit erhöhten Anforderungen an Spannungs- und Leistungsbereiche testen zu können. Diese Erweiterungen betreffen nur die Hardware; die Testsoftware ist durch die modulare Struktur des APAS Prüfsystems leicht auf andere DUTs anpassbar.

