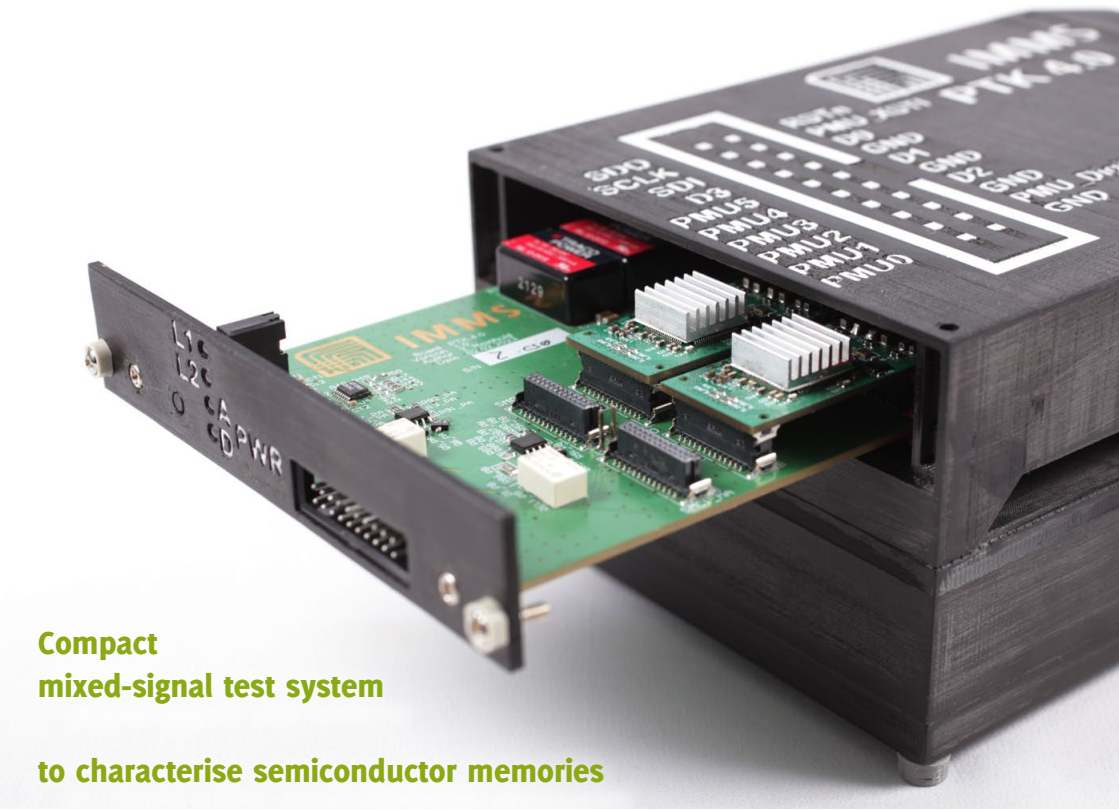


Compact mixed-signal test system to characterise semiconductor memories

Figure 1: The new PTK 4.0 test system with analogue/mixed-signal capability enables circuits to be tested, measured and even characterised without additional equipment. It is also compatible with the modular AMS ASIC Scope system developed at IMMS. Photograph: IMMS.

Motivation and overview

IMMS has developed a new standalone device for operating, testing and characterising test structures with semiconductor memories as well as mixed-signal circuitry and circuits with digital control, commissioned by X-FAB Global Services GmbH. With the size of a Tetra Pack juice box, the "Programmer Toolkit" version 4, the PTK 4.0, is ideal for mobile use or as a space-saving addition to established measuring stations. No additional test equipment is required for most applications, as all the necessary digital and analogue functions are provided by the PTK 4.0. Measurement tasks are carried out automatically in conjunction with a laptop for control and data processing.

www.imms.de/modtest

The core component is a measuring module with eight analogue and eight digital measuring channels. In addition to the implementation of the X-FAB's internal serial protocol "XSTI", standardised serial interfaces such as SPI or I²C can also be controlled. The digital voltage levels can be set between 0.65 V and 3.6 V. In addition,

© IMMS GmbH. All rights reserved. Reproduction and publication only with express permission of IMMS GmbH.

the analogue measuring channels can provide voltages (–6 V to +16 V) and currents (–50 mA to +50 mA) and record them with a high degree of accuracy (±1 nA / 2 mV). A sequencer makes it possible to programme and repeat measurement sequences so that stress and long-term tests can also be carried out.

PTK 4.0 hardware

For operation, the PTK 4.0 has a USB interface and an input for a power supply unit. Test objects can be connected via eight digital and eight analogue channels, which can be configured as input and output. Some of the digital channels are intended for data transmission to the test object via a specific communications protocol.

Two parts were developed for the system: the module board, which gives the device its actual function, and the module driver, which adapts the USB interface into a QSPI bus (quad serial peripheral interface) for data transmission. Analogue and digital functions are implemented using FPGA and analogue circuit components. As a module with the format of a Eurocard, this part of the test system is also compatible with the AMS ASIC Scope of IMMS.[1]

Module board

The basic function of the PTK 4.0 is located on the module board. This provides analogue source and measurement channels for supply and digital channels for controlling test chips. Eight digital IOs in the voltage range between 0.65 V and 3.6 V are available for this purpose. These are controlled by an FPGA and enable implementation for a wide range of digital protocols.

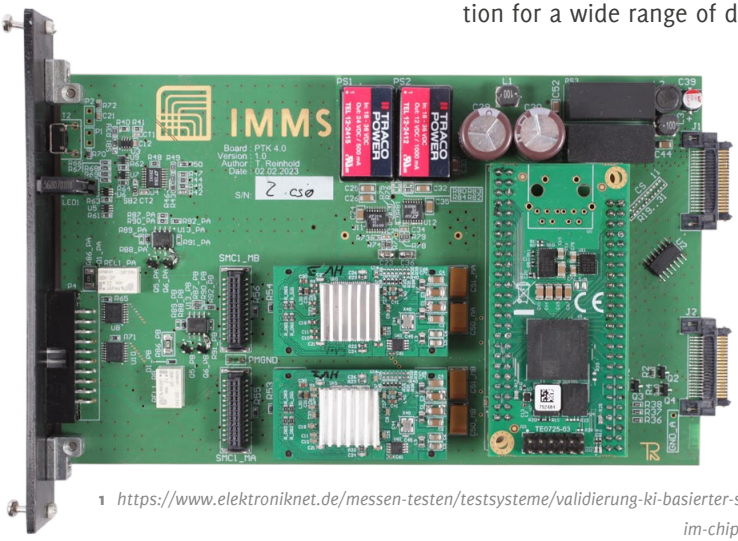


Figure 2:
PTK 4.0 – module board.

Photograph: IMMS.

1 https://www.elektroniknet.de/messen-testen/testsysteme/validierung-ki-basierter-simulationsmethoden-im-chip-entwurf.213109.html

© IMMS GmbH. All rights reserved. Reproduction and publication only with express permission of IMMS GmbH.

The voltages of the digital signals are specified as four signals each by two of the eight analogue channels. This means that the eight digital channels are divided into two groups, each containing four digital channels. The digital voltage level of each group can be varied independently of the other.

The eight analogue channels are four-quadrant sources with simultaneous measurement functionality from the field of ATE (automatic test equipment). These are capable of sourcing or sinking voltages or currents between –6 to 16 V and ±50 mA per channel. The accuracy for the output of analogue voltages corresponds to approx. ±2 mV. For currents, accuracies of up to ±1 nA are achieved, depending on the configured range.

The simultaneous measurement functionality enables the measurement of operating parameters of the circuit under test (DUT, device under test) with mV voltage and nA current resolution. This makes it possible, for example, to examine the current consumption of a test object.

To ensure high absolute accuracy of the analogue components, calibration and fine adjustment are carried out beforehand using calibrated measuring devices. This ensures that the desired measuring accuracy of the test device is achieved.

Module driver

The module driver represents the connection between the module and a user interface. The module driver contains a protocol converter from USB 2.0 to QSPI for this purpose. A power supply unit, which is connected to the module driver, serves as the power supply for the device.

Another advantage of the module driver is its compatibility with the modular system – the AMS ASIC Scope. Components of this modular system can therefore be operated with the module driver as stand-alone devices. On the other hand, the module board of the PTK 4.0 can also be used in the AMS ASIC Scope.

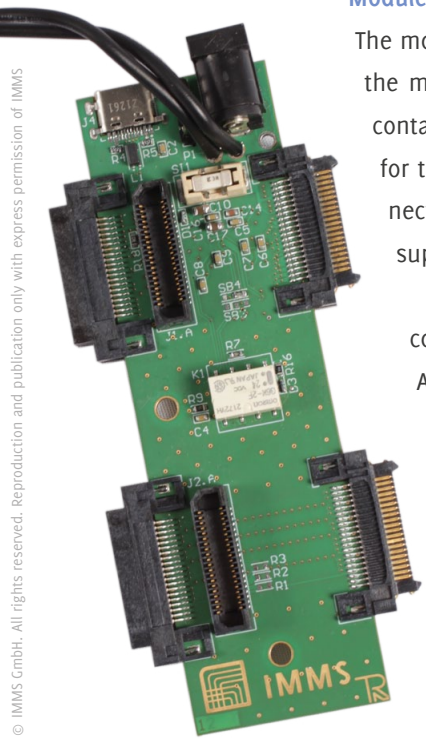


Figure 3: Module driver for the PTK 4.0 module board (also compatible with AMS ASIC Scope modules). Photograph: IMMS.

© IMMS GmbH. All rights reserved. Reproduction and publication only with express permission of IMMS GmbH.

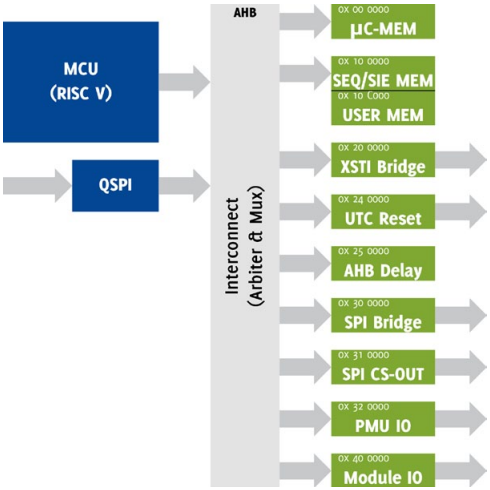


Figure 4: Schematic representation of the bus system implemented in the FPGA. Graphic: IMMS.

FPGA

An FPGA is installed as the control element of the PTK 4.0. This contains a microcontroller-like structure with an internal address bus system – the AHB (advanced high-performance bus).

This bus system contains two controlling components (bus master). These are shown in blue in Figure 4. When the module is switched on, a processor core with RISC-V instruction set enables the initialisation of the module components as well as programme sequence control for carrying out automated test sequences. Data access and control takes place in the form of a QSPI. This provides access to the programming of measurement sequences and the direct control of hardware components on the module board.

The slave components of the AHB (shown in green in Figure 4) include data memory, GPIO modules and digital bus interfaces such as SPI for controlling the analogue channels.

One slave component is a communications controller that implements a special communications protocol – the X-FAB Serial Test Interface (XSTI). This was implemented in the FPGA according to customer specifications and shows that the modularity of the architecture also enables the addition of proprietary, application-specific interfaces.

Microcontroller

The microcontroller integrated in the FPGA in the form of a RISC-V core implements an initialisation sequence, an interface for system control and a sequencer. During initialisation, function checks of the analogue components are performed and the calibration data is loaded. The status of this initialisation is indicated by the LEDs on the front panel. This means that it is immediately visible after switching on the device whether the hardware is ready for use or whether an error or defect has been detected.

© IMMS GmbH. All rights reserved. Reproduction and publication only with express permission of IMMS GmbH.

The microcontroller is then available for the execution of more complex operations and provides a sequencer for automated test sequences. In addition, there are sequencer commands for more complex operations, which reduce the utilisation of the sequencer and at the same time improve its user-friendliness. An example of this is the control of the ADC, which is configured to the corresponding analogue channel, starts a measurement and then reads back the result.

When a sequencer programme is running, the LEDs on the front panel show the user what state it is in. This makes it easy to see whether it is still being executed or if the process has been successfully completed or interrupted with an error message.

PC control

The PTK 4.0 is controlled by software that runs on a connected PC. An object-oriented C++ API exists for this purpose, which enables complex operations to be controlled at a high level of abstraction. At the same time, however, work at a lower level of abstraction is accessible, so that the desired level of abstraction can be used for the application.

Summary and outlook

The PTK 4.0 is a new test system with analogue/mixed-signal capability. It is compatible with the modular AMS ASIC Scope system developed at IMMS. In the form factor of a mobile device, the PTK 4.0 combines analogue and digital functions. It is designed for testing circuits with a digital serial interface. Supply voltages can be generated and digital communications protocols can be operated. At the same time, it is possible to measure analogue parameters such as current and/or voltages.

www.imms.de/modtest

All measurement functions can be accessed via the USB interface. In addition, it is possible to run tests automatically using the sequencer and thus speed it up considerably.

This tabletop device makes it possible to test, measure and even characterise circuits without additional equipment. It has great potential, as the same range of functions is otherwise only available in very expensive and large measuring devices,

© IMMS GmbH. All rights reserved. Reproduction and publication only with express permission of IMMS GmbH.

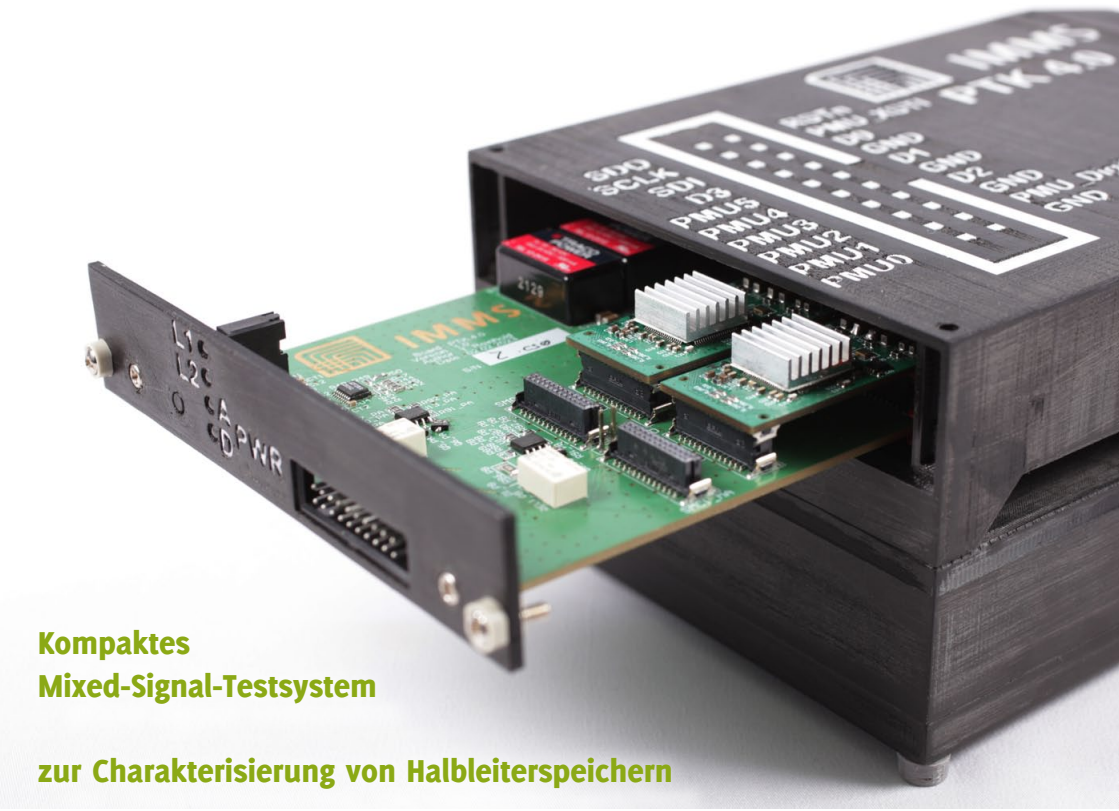
which in turn are so universal that a great effort has to be invested in test development. The PTK 4.0, on the other hand, is designed directly for operating digital and mixed-signal circuits. The test setup is simple, as all signals are connected to one device and the functions required for programming with the C++ interface are provided directly. This makes the PTK 4.0 suitable for a complete test setup as well as for ad hoc tasks.

Similar to the PTK 4.0, setups specially adapted to customer requirements can be developed at IMMS for other tasks, for example for automation, miniaturisation or flexibilisation of measurement tasks.

Contact person: Tom Reinhold, M.Sc., tom.reinhold@imms.de

www.imms.de/modtest

© IMMS GmbH. All rights reserved. Reproduction and publication only with express permission of IMMS GmbH.



Kompaktes Mixed-Signal-Testsystem zur Charakterisierung von Halbleiterspeichern

Abbildung 1: Das neue Testsystem PTK 4.0 mit Analog-Mixed-Signal-Fähigkeit ermöglicht ohne zusätzliches Equipment, Schaltkreise zu testen, zu messen und sogar zu charakterisieren. Darüber hinaus ist es zu dem am IMMS entwickelten modularen System AMS ASIC Scope kompatibel. Foto: IMMS.

Motivation und Überblick

www.imms.de/modtest

Das IMMS hat ein neues Standalone-Gerät für Betrieb, Test und Charakterisierung von Teststrukturen mit Halbleiterspeichern sowie Mixed-Signal- und Schaltungen mit digitaler Ansteuerung im Auftrag der X-FAB Global Services GmbH entwickelt. Mit der Größe eines klassischen Milch-Tetrapacks ist das “Programmer Toolkit” der Version 4, das PTK 4.0, ideal für den mobilen Einsatz oder als platzsparende Ergänzung für etablierte Messplätze geeignet. Für die meisten Anwendungen wird kein zusätzliches Testequipment gebraucht, denn alle benötigten digitalen und analogen Funktionen werden vom PTK 4.0 bereitgestellt. Messaufgaben werden in Verbindung mit einem Laptop zur Ansteuerung und Datenverarbeitung automatisiert ausgeführt.

Kernkomponente ist ein Messmodul mit acht analogen und acht digitalen Messkanälen. Neben der Implementierung des internen seriellen Protokolls „XSTI“ der X-FAB sind auch standardisierte serielle Schnittstellen wie SPI oder I²C ansteuerbar. Die digitalen Spannungspegel sind dabei zwischen 0,65 V und 3,6 V einstellbar.

© IMMS GmbH. Alle Rechte sind vorbehalten. Vervielfältigung und Veröffentlichung nur mit Genehmigung der IMMS

Zusätzlich können die analogen Messkanäle Spannungen (–6 V bis +16 V) und Ströme (–50 mA bis +50 mA) bereitstellen sowie mit einer hohen Genauigkeit (±1 nA / 2 mV) erfassen. Durch einen Sequenzer besteht die Möglichkeit, Messabläufe zu programmieren und zu wiederholen, sodass auch Stress- und Langzeituntersuchungen erfolgen können.

Hardware des PTK 4.0

Zum Betrieb verfügt das PTK 4.0 über eine USB-Schnittstelle und einen Eingang für ein Netzteil. Testobjekte lassen sich über acht digitale sowie acht analoge Kanäle anschließen, die als Ein- und Ausgabe konfigurierbar sind. Ein Teil der digitalen Kanäle ist für die Datenübertragung zum Testobjekt mit einem Bussystem vorgesehen.

Für das System wurden zwei Teile entwickelt: die Modulplatine, die dem Gerät die eigentliche Funktion gibt, und der Modultreiber, der die USB-Schnittstelle in einen QSPI-Bus (Quad Serial Peripheral Interface) zur Datenübertragung adaptiert. Per FPGA und mit analogen Schaltungskomponenten werden analoge und digitale Funktionen implementiert. Als Modul mit dem Formformat einer Europakarte ist dieser Teil des Testsystems zusätzlich kompatibel zum AMS ASIC Scope des IMMS.[1]

Modulplatine

Die Grundfunktion des PTK 4.0 befindet sich auf der Modul-Platine. Diese bietet analoge Quell- und Messkanäle zur Versorgung und digitale Kanäle zur Ansteuerung von Test-Chips. Dafür stehen acht digitale IOs im Spannungsbereich zwischen 0,65 V und 3,6 V zur Verfügung. Diese werden von einem FPGA gesteuert und ermöglichen die Implementierung für verschiedenste Digitalprotokolle.

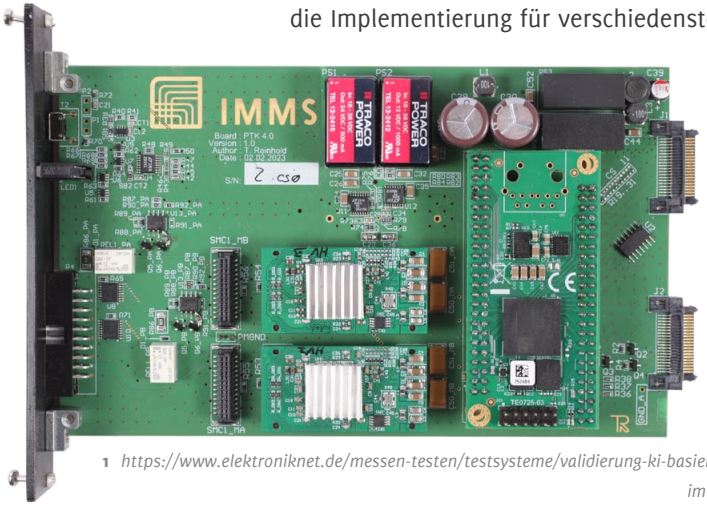


Abbildung 2:

PTK 4.0 – Modulplatine.

Foto: IMMS.

1 *https://www.elektroniknet.de/messen-testen/testsysteme/validierung-ki-basierter-simulationsmethoden-im-chip-entwurf.213109.html*

© IMMS GmbH. Alle Rechte sind vorbehalten. Vervielfältigung und Veröffentlichung nur mit Genehmigung der IMMS GmbH.

Die Spannungen der digitalen Signale werden zu je vier Signalen miteinander durch zwei der insgesamt acht analogen Kanäle vorgegeben. Das bedeutet, dass die acht digitalen Kanäle in zwei Gruppen aufgeteilt sind, die jeweils vier Digital-Kanäle beinhalten. Jede Gruppe kann unabhängig von der anderen in ihrem digitalem Spannungspegel variiert werden.

Die acht analogen Kanäle sind Vierquadrantenquellen mit gleichzeitiger Messfunktionalität aus dem ATE-Bereich (Automatic Test Equipment). Diese sind in der Lage, je Kanal Spannungen oder Ströme zwischen –6 bis 16 V und ±50 mA zu erzeugen bzw. zu senken. Die Genauigkeit für die Ausgabe analoger Spannungen entspricht ca. ±2 mV. Für Ströme werden, je nach konfiguriertem Bereich, Genauigkeiten von bis ±1 nA erreicht.

Die gleichzeitige Messfunktionalität ermöglicht die Messung von Betriebsparametern des zu untersuchenden Schaltkreises (DUT, Device Under Test) mit mV-Spannungs- und nA-Stromauflösung. Das ermöglicht beispielsweise die Untersuchung der Stromaufnahme eines Testobjektes.

Für eine große absolute Genauigkeit der analogen Komponenten erfolgt zuvor ein Abgleich und eine Feinjustage mit Hilfe kalibrierter Messgeräte. So wird sichergestellt, dass die angestrebte Messgenauigkeit des Testgerätes erreicht wird.

Modultreiber

Der Modulteiber stellt die Verbindung zwischen dem Modul und einer Nutzerschnittstelle dar. Dafür beinhaltet der Modultreiber einen Protokollwandler von USB 2.0 auf QSPI. Ein Netzteil, welches am Modultreiber angeschlossen wird, dient als Spannungsversorgung des Gerätes.

Ein weiterer Vorteil des Modultreibers ist die Kompatibilität zum modularen System – dem AMS ASIC Scope. Komponenten dieses Modularsystems können so mit dem Modultreiber als Standalone-Geräte betrieben werden. Andererseits ist die Modulplatine des PTK 4.0 auch im AMS ASIC Scope einsetzbar.

Abbildung 3: Standalone-Modul-Treiber für PTK-4.0- und AMS-ASIC-Scope-Module. Foto: IMMS.

© IMMS GmbH. Alle Rechte sind vorbehalten. Vervielfältigung und Veröffentlichung nur mit Genehmigung der IMMS GmbH.

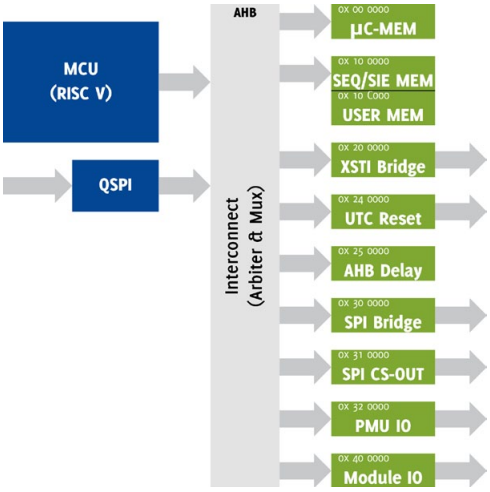


Abbildung 4: Schematische Darstellung des im FPGA implementierten Adressbus-Systems. Grafik: IMMS.

Das FPGA

Als Steuerelement des PTK 4.0 ist ein FPGA verbaut. Dieser beinhaltet eine Microcontroller-ähnliche Struktur mit internem Adressbus-System – der AHB (Advanced High-Performance Bus).

Dieses Bussystem beinhaltet zwei steuernde Komponenten (Bus-Master). Diese sind in Abbildung 4 blau dargestellt. Ein Prozessorkern mit RISC-V-Befehlssatz ermöglicht beim Einschalten des Moduls die Initialisierung der Modulkomponenten sowie eine Programmablaufsteuerung zur Durchführung automatisierter Testabläufe. Der Datenzugriff und die Ansteuerung erfolgt in Form eines QSPI. Dieses stellt den Zugang zur Programmierung von Messabläufen und der direkten Ansteuerung von Hardwarekomponenten der Modulplatine zur Verfügung.

Die Slave-Komponenten des AHB (in Abbildung 4 grün dargestellt) beinhalten Datenspeicher, GPIO-Module und Digitale Bus-Interfaces wie SPI zur Kontrolle der Analogkanäle.

Eine der Slave-Komponenten ist ein Kommunikationscontroller, welcher ein spezielles Kommunikationsprotokoll implementiert – das X-FAB Serial Test Interface (XSTI). Dieses wurde nach Kundenspezifikation im FPGA implementiert und zeigt, dass die Modularität der Architektur auch die Ergänzung proprietärer, anwendungsspezifischer Schnittstellen ermöglicht.

Mikrocontroller

Der im FPGA integrierte Mikrocontroller in Form eines RISC-V-Cores implementiert eine Initialisierungssequenz, ein Interface zur Systemsteuerung sowie einen Sequenzer. Bei der Initialisierung erfolgt ein Funktionscheck der analogen Komponenten und die Kalibrierdaten werden geladen. Der Status dieser Initialisierung wird durch die LEDs am Frontpanel wiedergegeben. Somit ist nach Einschalten des Gerätes direkt sichtbar, ob die Hardware einsatzbereit ist oder ein Fehler oder Defekt erkannt wurde.

© IMMS GmbH. Alle Rechte sind vorbehalten. Vervielfältigung und Veröffentlichung nur mit Genehmigung der IMMS GmbH.

Danach steht der Mikrocontroller für die Ausführung komplexerer Operationen zur Verfügung und stellt eine Ablaufsteuerung in Form eines Sequenzers bereit. Dadurch können automatisierte Testabläufe vorgegeben und programmiert werden. Zusätzlich existieren Sequenzerbefehle für komplexere Operationen, welche die Auslastung des Sequenzers reduzieren und gleichzeitig dessen Nutzerfreundlichkeit verbessern. Ein Beispiel hierfür ist die Ansteuerung des ADC, welcher auf den entsprechenden Analog-Kanal konfiguriert wird, eine Messung startet und das Ergebnis im Anschluss zurückliest.

Bei Ausführung eines Sequenzerprogramms ist für den Nutzer durch die LEDs am Frontpanel ersichtlich, in welchem Zustand sich dieser befindet. Somit ist einfach erkennbar, ob dessen Ausführung noch im Gange ist oder ob der Ablauf erfolgreich beendet bzw. mit einer Fehlermeldung unterbrochen wurde.

PC-Ansteuerung

Das PTK 4.0 wird durch eine auf einem verbundenen PC auszuführende Software gesteuert. Dafür existiert eine objektorientierte C++-API, welche die Steuerung komplexer Operationen auf einer hohen Abstraktionsebene ermöglicht. Gleichzeitig wird aber die Arbeit auf niedrigerer Abstraktionsebene nicht verwehrt, sodass der für die Anwendung gewünschte Abstraktionsgrad nutzbar ist.

Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem PTK 4.0 ist ein neues Testsystem mit Analog-Mixed-Signal-Fähigkeit entstanden. Es ist kompatibel zu dem am IMMS entwickelten modularen System AMS ASIC Scope. Im Formfaktor eines mobilen Gerätes kombiniert das PTK 4.0 analoge und digitale Funktionen. Es ist ausgerichtet für den Test von Schaltkreisen mit digitalem seriellen Interface. Dafür können Versorgungspannungen erzeugt und digitale Kommunikationsprotokolle bedient werden. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit, analoge Parameter zu messen, wie Stromfluss und/oder Spannungen.

www.imms.de/modtest

Der Zugriff auf alle Messfunktionalitäten erfolgt über die USB-Schnittstelle. Zusätzlich existiert die Möglichkeit, den Test durch die Verwendung des Sequenzers automatisiert auszuführen und ihn somit stark zu beschleunigen.

© IMMS GmbH. Alle Rechte sind vorbehalten. Vervielfältigung und Veröffentlichung nur mit Genehmigung der IMMS GmbH.

Dieses Tischgerät ermöglicht ohne zusätzliches Equipment, Schaltkreise zu testen, zu messen und zu charakterisieren. Es bringt großes Potenzial mit sich, denn den gleichen Funktionsumfang gibt es sonst nur in sehr teuren und großen Messgeräten, die wiederum so universell sind, dass sehr viel Arbeit in die Testentwicklung investiert werden muss. Das PTK 4.0 hingegen ist direkt darauf ausgerichtet, digitale und Mixed-Signal-Schaltkreise zu betreiben. Das Testsetup ist einfach, da alle Signale an einem Gerät angeschlossen werden und für die Programmierung mit C++-Schnittstelle werden benötigte Funktionen direkt bereitgestellt. Dadurch eignet sich das PTK 4.0 sowohl für ein komplettes Testsetup als auch für Ad-hoc-Aufgaben.

Ähnlich wie für das PTK 4.0 können am IMMS speziell auf Kundenwünsche angepasste Setups für weitere Messaufgaben entwickelt werden, beispielsweise zur Automatisierung, Miniaturisierung oder Flexibilisierung von Messaufgaben.

Kontakt: Tom Reinhold, M.Sc., tom.reinhold@imms.de

www.imms.de/modtest

© IMMS GmbH. Alle Rechte sind vorbehalten. Vervielfältigung und Veröffentlichung nur mit Genehmigung der IMMS GmbH.