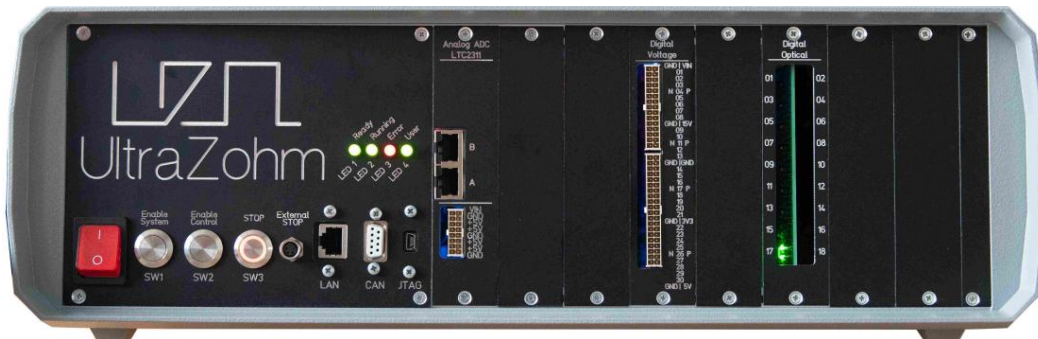


UltraZohm – Open-Source-Plattform für die schnelle Prototypentwicklung von Leistungselektronik-Systemen



Forschungsschwerpunkte

- Open-Source Rapid Control Prototyping (RCP) Plattform, die reproduzierbare Echtzeit-Experimente in der Leistungselektronik- und Antriebsforschung ermöglicht.
- Heterogene MPSoC/FPGA-Rechenarchitektur zur Beschleunigung rechenintensiver Regelungs- und Schätzungsprozesse (z. B. modellprädiktive Regelung mit endlicher Stellgröße (FCS), maschinelles Lernen für die Regelung).
- Modulares Hardwarekonzept mit einer Trägerplatine und standardisierten analogen und digitalen Adapterkarten für Messung, Sensorik und Gate-/IO-Schnittstellen.
- Ökosystem aus verfügbaren Adapterkarten, Peripheriegeräten und Inverterschnittstellen, ergänzt durch entsprechende FPGA-IP-Cores und C-Code-Treiber (vollständige Referenzimplementierungen).
- Modellbasierte Entwicklungsworkflows, einschließlich automatischer Codegenerierung und FPGA-Beschleunigung (z. B. Vivado/Vitis-Integration, HLS-basierte Designabläufe).
- Gemeinschaftsorientierte Entwicklung zur gemeinsamen Nutzung von Infrastruktur, Reduzierung von Doppelarbeit im Ingenieurwesen und Beschleunigung der akademischen Leistungen.

Kontakt

- Eyke Aufderheide <https://www.epe.ed.tum.de/hlu/team/aufderheide-eyke/>

Links

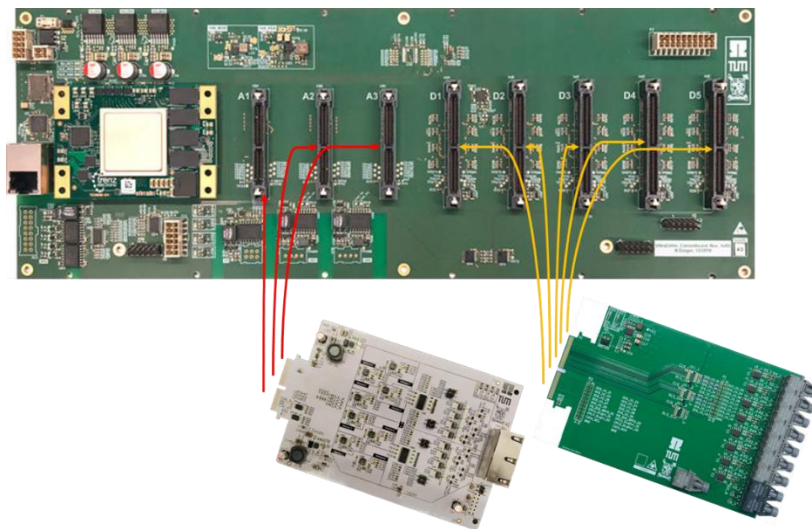
- Documentation: docs.ultrazohm.com
- Software repository: bitbucket.org/ultrazohm/ultrazohm_sw

- Funding context (KI-Power): <https://www.elektronikforschung.de/foerderprojekte/ki-power>
- Distribution www.zohm-control.org

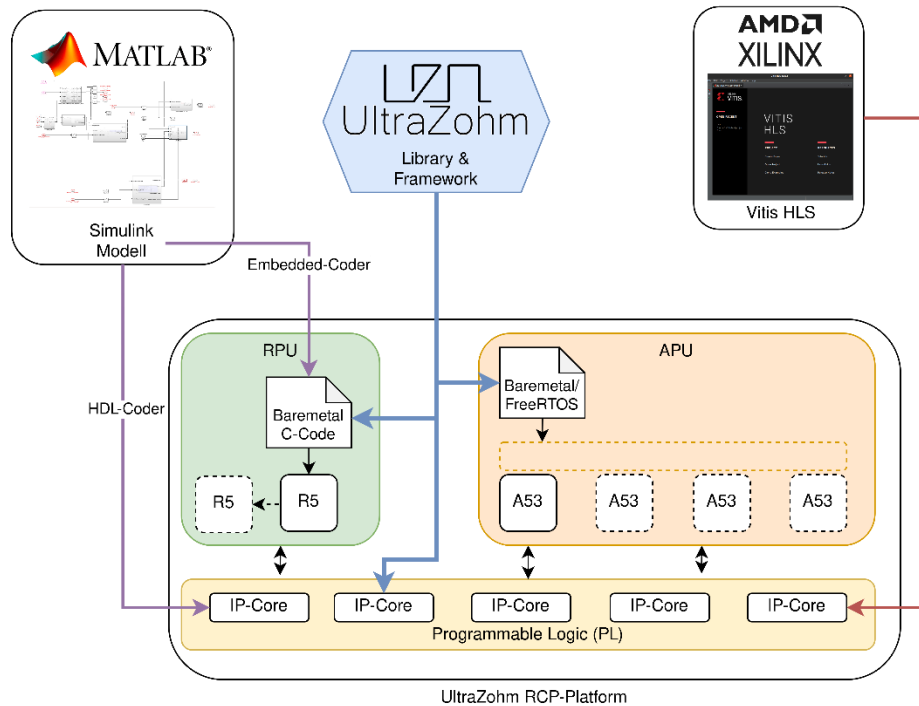
Kurzbeschreibung

UltraZohm ist eine gemeinschaftsbasierte Open-Source-RCP-Plattform für die Forschung im Bereich Leistungselektronik und elektrische Antriebe. Sie integriert einen Xilinx Zynq UltraScale+ MPSoC (ARM-Anwendungskerne, Echtzeitkerne und FPGA-Fabric) in ein modulares Trägerplatinensystem und bietet so eine wiederverwendbare Referenzplattform für deterministische Echtzeitsteuerung und schnelle Experimente.

Standardisierte Adaptersteckplätze ermöglichen skalierbare Schnittstellen: Bis zu fünf digitale Adapterkarten bieten bis zu 150 schnelle digitale Ein-/Ausgänge (z. B. Gate-Signale), während bis zu drei analoge Adapterkarten mit 8- oder 24-Kanal-ADC-Eingängen pro Karte bestückt werden können (konfigurationsabhängig).



Darüber hinaus pflegt das Projekt eine stetig wachsende Bibliothek dokumentierter Adapterkarten, Peripheriegeräte und Schnittstellen zu kompatiblen Wechselrichtern (einschließlich digitaler Wechselrichtermodule und Wechselrichteradapterkonzepte). Entscheidend für die Reproduzierbarkeit der Forschung ist, dass diese Hardware-Bausteine durch entsprechende FPGA-IP-Cores sowie C-Code-Treiber und Framework-Module ergänzt werden. So entsteht eine kohärente Full-Stack-Referenzimplementierung von der Ein-/Ausgabe und dem Schutz bis hin zur Echtzeit-Steuerungssoftware.



UltraZohm ist für die Echtzeitsteuerung mit Regelfrequenzen im Bereich von 10 bis 400 kHz ausgelegt, während rechenintensive Aufgaben auf das FPGA ausgelagert werden können. Dies ermöglicht fortschrittliche Forschungsabläufe wie die Regler-in-the-Loop-Anlagenemulation auf dem FPGA, die schnelle Datenerfassung und -vorverarbeitung sowie die Hardwarebeschleunigung von Optimierungs- und Inferenzpipelines.

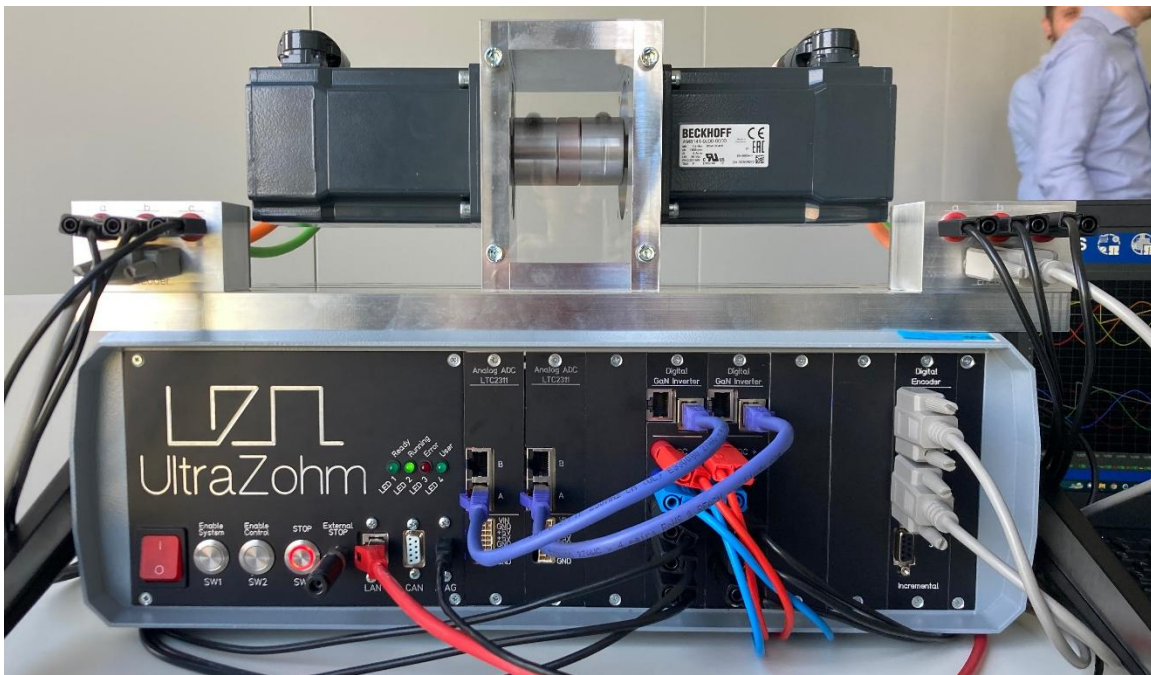
Die Plattform ist vollständig Open Source (Software und Dokumentation unter Apache-2.0, Hardware unter CERN-OHL-P), sodass Forscher die gesamte Signalkette und den Verarbeitungsstapel ohne Blackboxes untersuchen und anpassen können.

Community und demonstrierte Anwendungsfälle

UltraZohm wurde als experimentelle Plattform in wissenschaftlichen Publikationen und Demonstrationsprojekten in den Bereichen Leistungselektronik und Antriebssteuerung eingesetzt, unter anderem für folgende Themen:

- Echtzeit-Implementierung der direkten modellprädiktiven Regelung mit großem Zeithorizont für mehrstufige Wechselrichter und Antriebe.
- Nichtlineare Stromregelung für Synchronreluktanzmaschinen unter Verwendung analytischer Flussverkeftungsdarstellungen.
- Controller-in-the-Loop und FPGA-basierte Anlagenemulation für Experimente mit sehr hoher Abtastrate.

- Forschung zur Steuerung von Mehrpegelumrichtern (einschließlich MMC-Konzepten) und zur Mehrphasenantriebssteuerung.



Ausgewählte Publikationen:

S. Wendel, A. Geiger, E. Aufderheide (Liegmann), D. Arancibia, E. Duren, T. Kreppel, F. Rojas, F. Popp-Nowak, M. Diaz, A. Dietz, R. Kennel, B. Wagner, “UltraZohm – A powerful real-time computation platform for MPC and multi-level inverters,” *Proc. IEEE PRECEDE*, 2019, doi: 10.1109/PRECEDE.2019.8753306, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8753306> .

E. Aufderheide (Liegmann), T. Schindler, A. Dietz, R. Kennel, “UltraZohm—An Open-Source Rapid Control Prototyping Platform for Power Electronic Systems,” *Proc. IEEE ACEMP/OPTIM*, 2021, doi: 10.1109/OPTIM-ACEMP50812.2021.9590016, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9590016> .

E. Aufderheide (Liegmann), P. Karamanakos, R. Kennel, “Real-Time Implementation of Long-Horizon Direct Model Predictive Control on an Embedded System,” *IEEE Open Journal of Industry Applications*, 2022, doi: 10.1109/OJIA.2021.3133477, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9640575> .

S.-W. Su, H. Börngen, C. M. Hackl, R. Kennel, “Nonlinear Current Control of Reluctance Synchronous Machines With Analytical Flux Linkage Prototype

Functions," *IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society*, 2022, doi:
10.1109/OJIES.2022.3208329, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9896947> .

S. Klass, H. Börngen, D. Manoharan, R. Kennel and M. L. Heldwein, "High-Frequency Switching of State-of-the-Art Wide Band Gap Inverters and its Impact on Encoderless Control Schemes," *IEEE Proc. SPEC/COBEP*, 2023, doi:
10.1109/SPEC56436.2023.10407581,
<https://ieeexplore.ieee.org/document/10407581> .