



^{1,2} L. Zacharias, M. Bodach, R. Lehmann, S. Slawinski

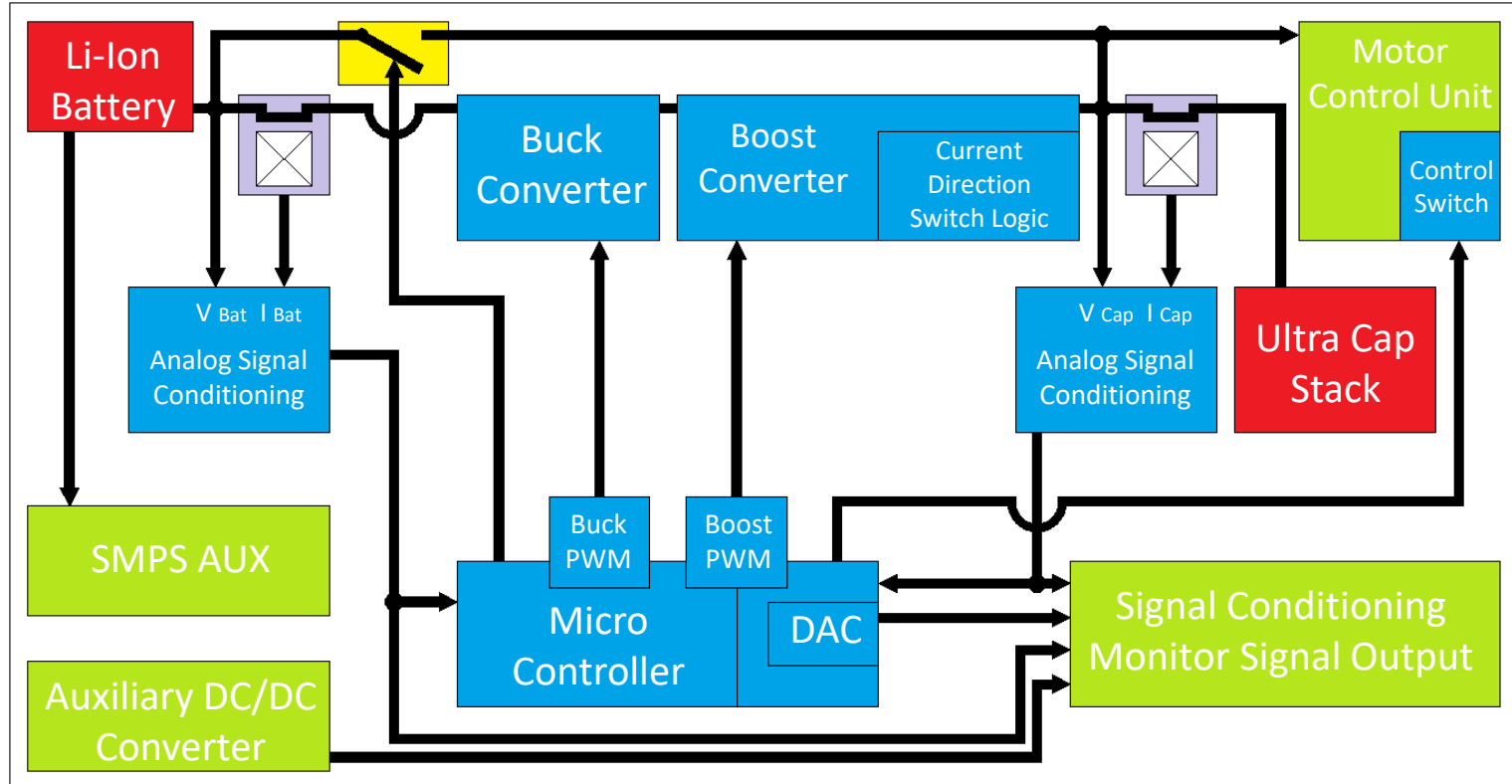
¹ Westsächsische Hochschule Zwickau - Fakultät Elektrotechnik

² VDE Arbeitskreis „Elektrische Energiespeicherforschung Westsachsen“



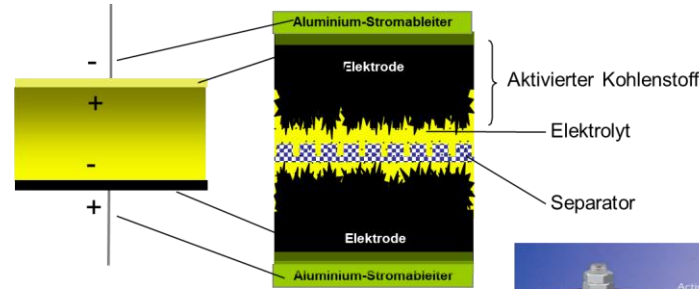
Mikroprozessorgeregeltes hybrides Energiespeichersystem verdoppelt Akku-Lebensdauer bei intelligenten batteriebetriebenen Elektroantrieben

Demonstrator-Topologie



UltraCap / SuperCap = Doppelschichtkondensator

Schematischer Aufbau



Quelle: EPCOS

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$



Elektrische Kapazitäten bis zu einigen **Kilofarad** [!], bei (2.5 ...3) Volt

Powermanagement - Systemtheorie - Reglerbemessung

Innovativer Ansatz: Root-Locus-Method (EVANS)

$$G_{Li}(s) = K_{Si} \cdot \frac{b_{1i} \cdot s + b_{0i}}{a_{2i} \cdot s^2 + a_{1i} \cdot s + a_{0i}}$$

PI Controller

$$G_{Ri}(s) = K_{Ri} \cdot \frac{s + r_p}{s}$$

Open loop

$$G_{Oi}(s) = K_{Ri} \cdot \frac{s + r_p}{s} \cdot K_{Si} \cdot \frac{b_{1i} \cdot s + b_{0i}}{a_{2i} \cdot s^2 + a_{1i} \cdot s + a_{0i}}$$

$$\sigma_a = \frac{1}{n - m} \cdot \left\{ \sum_{v=1}^n \operatorname{Re}(s_{Pv}) - \sum_{\mu=1}^m \operatorname{Re}(s_{N\mu}) \right\}$$

Branching Points

$$\sum_{v=1}^n \frac{1}{s - s_{Pv}} = \sum_{\mu=1}^m \frac{1}{s - s_{N\mu}}$$

Check of existing points in root-locus

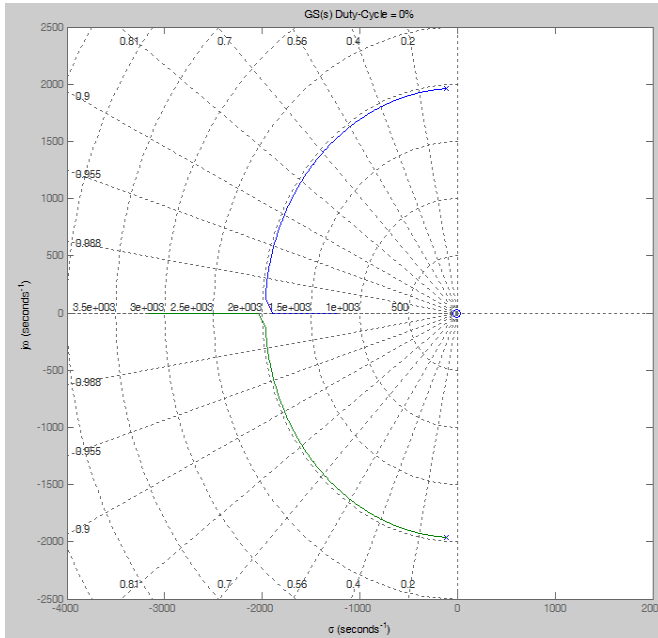
$$s_v \in WOK := \left\{ s_v < s_{Pv}, s_v < s_{N\mu}, s_v \in \mathbb{N}, \sum_{v=1}^n \in s_{Pv} + \sum_{\mu=1}^m \in s_{N\mu} := |x \bmod 2 \neq 0| \right\}$$

Gain in lowest branching point

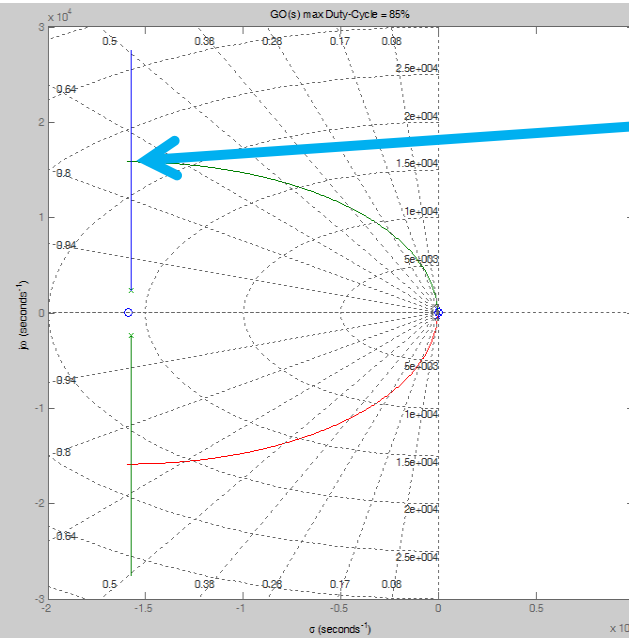
$$K_{sv} = - \frac{\prod_{j=1}^n (s_v - s_{Pj})}{\prod_{i=1}^m (s_v - s_{Ni})} \quad \text{or} \quad K_{sv} = - \frac{\prod_{j=1}^n |s_v - s_{Pj}|}{\prod_{i=1}^m |s_v - s_{Ni}|}$$



Systemtheoretische Untersuchungen Illustration in der Gauss'schen Zahlenebene



Ungeregelt
System



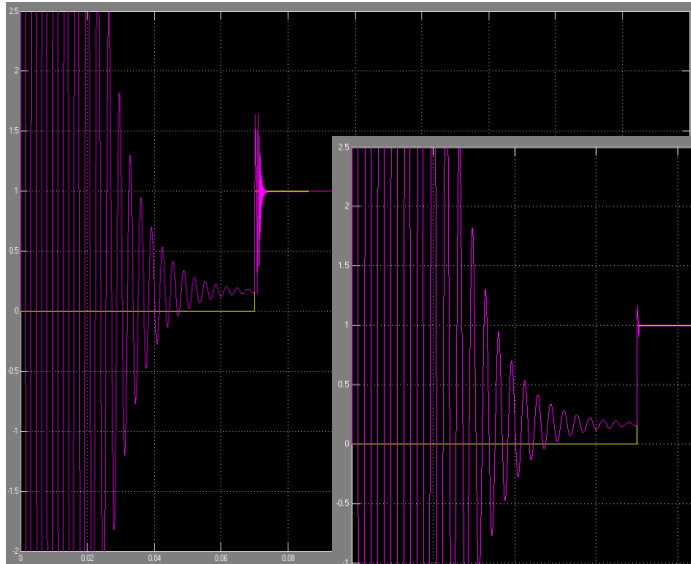
Geschlossener Regelkreis mit
3-fach höherer Dynamik

Prognostizierte
„Maximalverstärkung“
für zu erreichende
Wunschdynamik

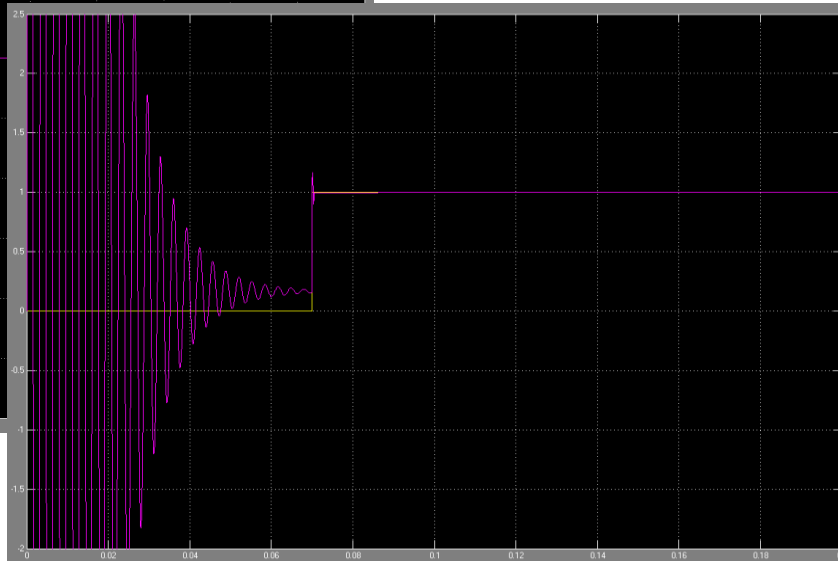


Powermanagement – Reglerbemessung - Simulation auf abstrakter Systemebene

Gefahrloses Austesten von möglichen Parameter - Suchräumen



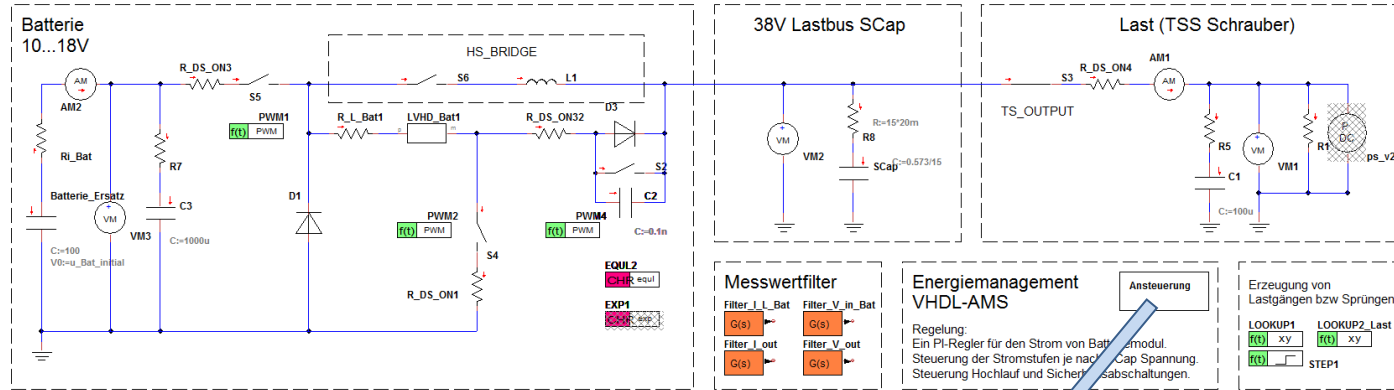
„Kleinstmögliche“ Proportional- und
„größtmögliche“ Integralverstärkung



Sowohl theoretisch „maximale“
Proportional- als auch Integral-
Verstärkung

Akkubohrschrauber mit hybridem Energiespeicher

Hardwarenahe Modellierung des Gesamtsystems



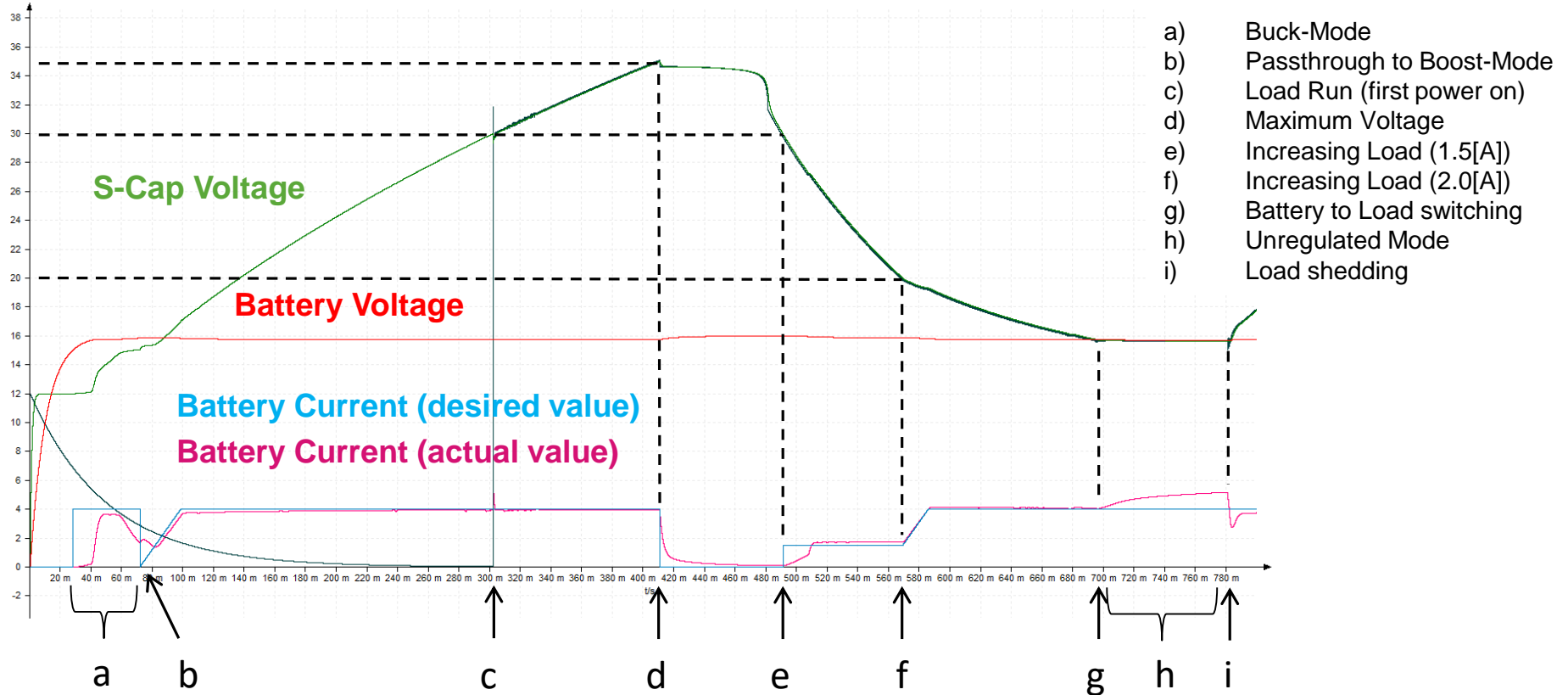
IO, PWM, ADC, DAC
State Machine

Power Management
Code Generation

FW

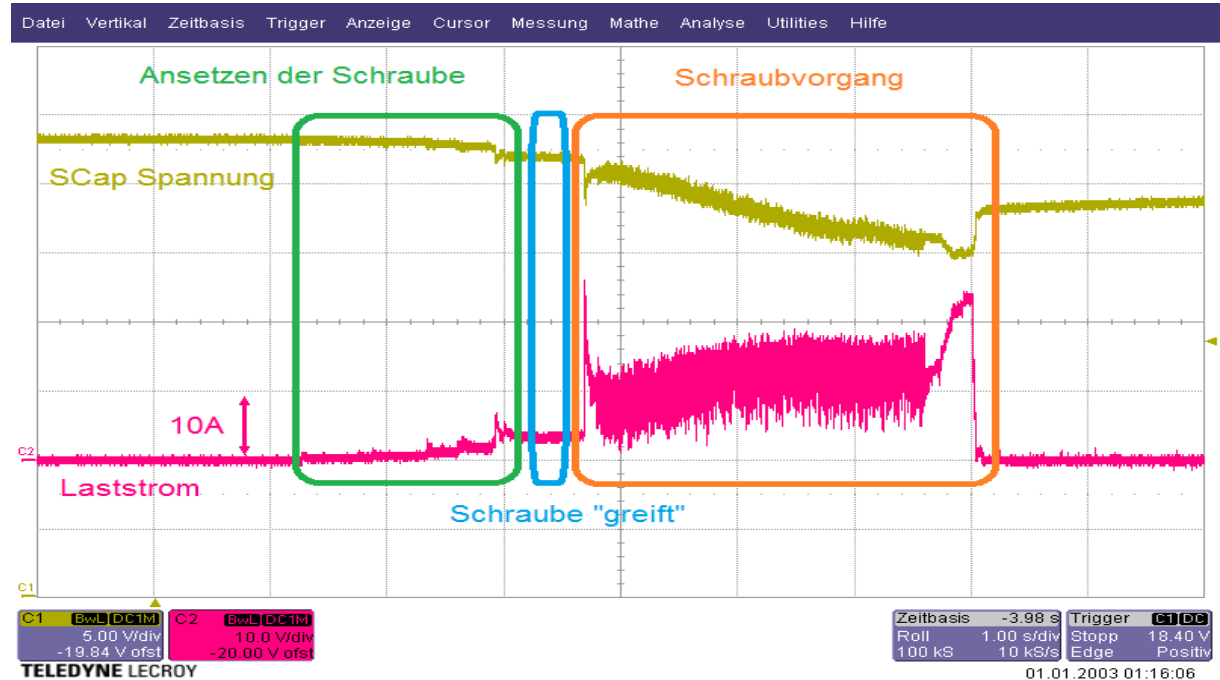


Akkubohrschrauber mit hybridem Energiespeicher - Simulation eines vollständigen Arbeitszyklus

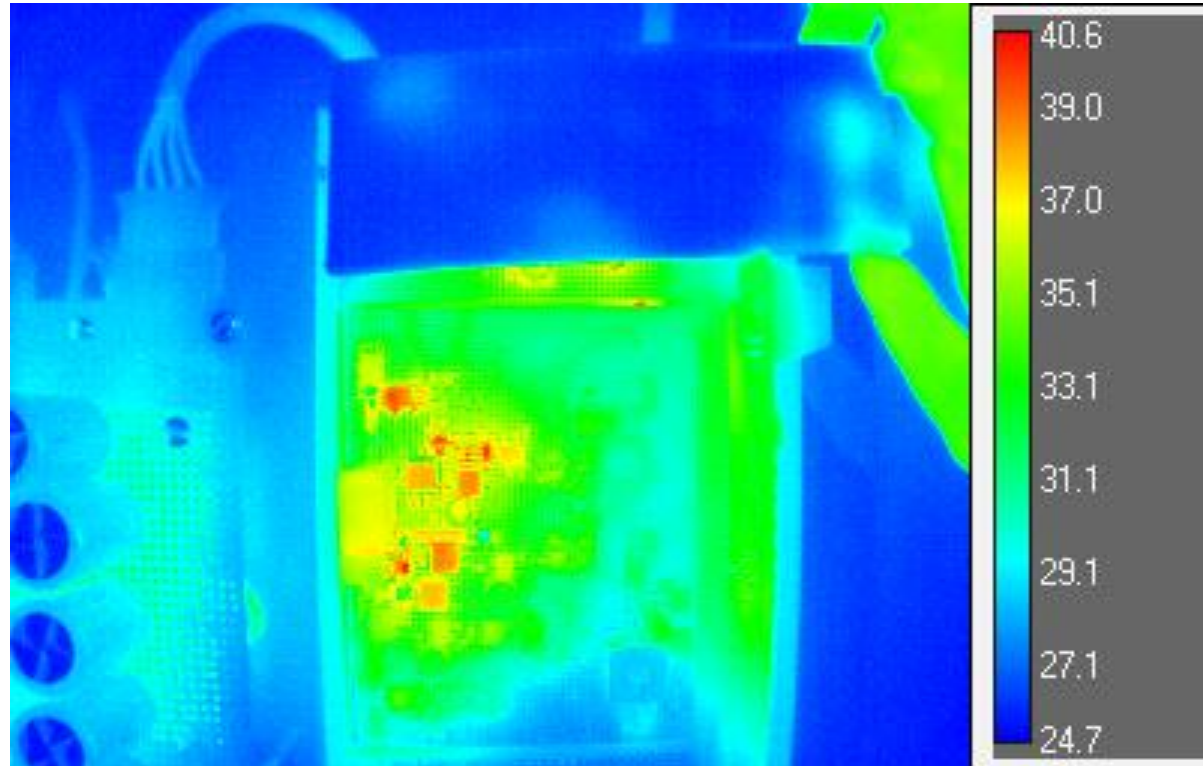


Messungen am realen Objekt mit hybridem Energiespeichersystem

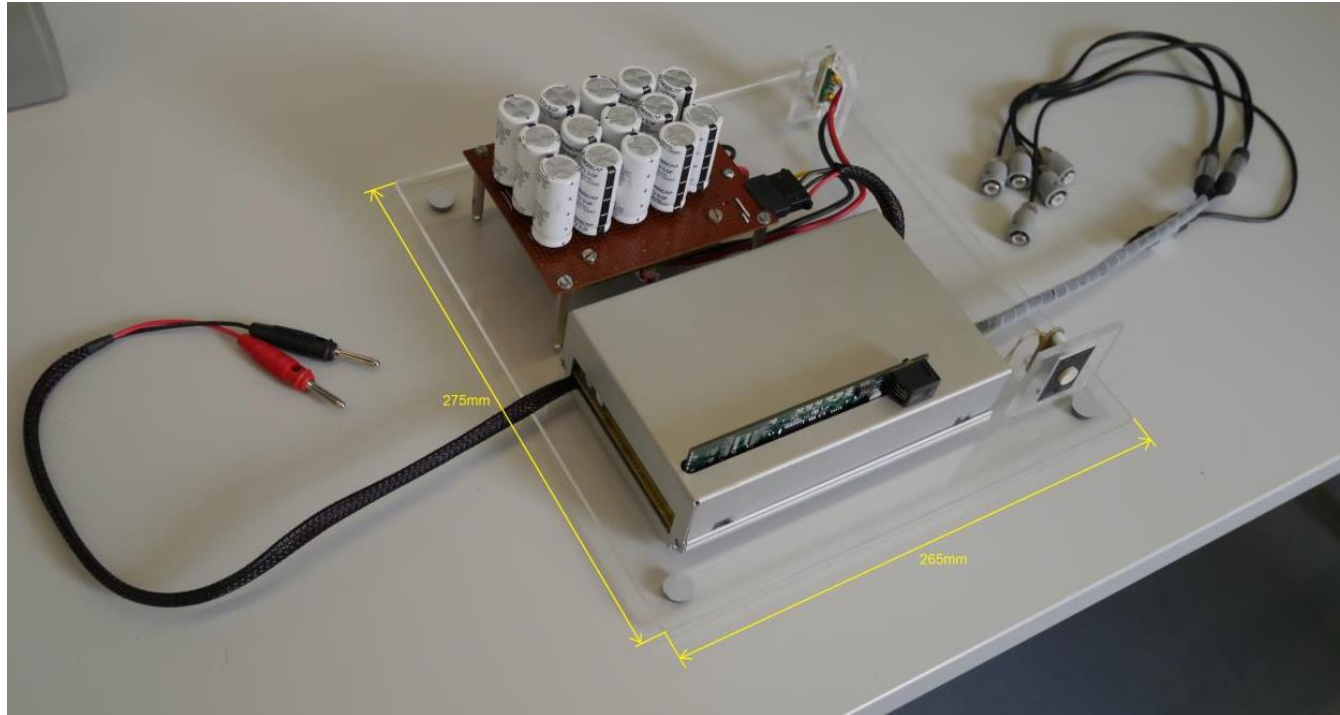
- Typischer Schraubprozess mit ausgeprägten Stromspitzen am Anfang und am Ende des Vorganges
- Schädliche Rippelströme (rot) hier jedoch komplett von der Batterie ferngehalten



Messungen am realen Objekt – Thermische Analyse



Entwickeltes funktionsfähiges Demonstrationsobjekt



Entwickeltes funktionsfähiges Demonstrationsobjekt





Mikroprozessorgeregeltes hybrides Energiespeichersystem

Eigenschaften

- Erstmals in diesem Kontext applizierte kombinierte Buck-OR-MOS-Boost-Topologie
- Digitales Power Management
- Vollanpassbare Systemparameter
- Verringerung der resultierenden Energiespeicher-Impedanz

Vorteile

- Signifikante Verlängerung der Batterielebensdauer (SoC, SoH)
- Applikationsspezifisch einstellbare Batteriespitzenströme, dadurch wird der Akku stets in seiner “Komfortzone” betrieben
- Extrem hohe Strom-Tragfähigkeit des SCAP-Stacks



Mikroprozessorgeregeltes hybrides Energiespeichersystem

Vielgestaltiges Anwendungsspektrum in verschiedensten Volumenmärkten, u.v.a.

- **Akkubetriebene E-Werkzeuge;** Verdopplung der Batterielebensdauer
- **Aufzüge, Förder- und Hebezeuge;** signifikante Energie-Einsparungen
- **E-Fahrzeuge;** verbesserte Rekuperation, Erhöhung von Reichweite und Beschleunigungsvermögen
- **Luft- und Raumfahrt;** „weiche“ Notlandung von Drohnen



Mikroprozessorgeregeltes hybrides Energiespeichersystem

KONTAKT

Westsächsische Hochschule Zwickau • Fakultät Elektrotechnik

Professur Regelungs- und Steuerungstechnik

Professur Elektrische Energietechnik / Regenerative Energien

Dr.-Friedrichs-Ring 2A • 08056 Zwickau

Prof. Dr.-Ing. Lutz Zacharias

Prof. Dr.-Ing. Mirko Bodach

Tel: +49 375 536 1431 • Fax: +49 375 536 1403

Lutz.Zacharias@fh-zwickau.de