

GEFÖRDERT VOM



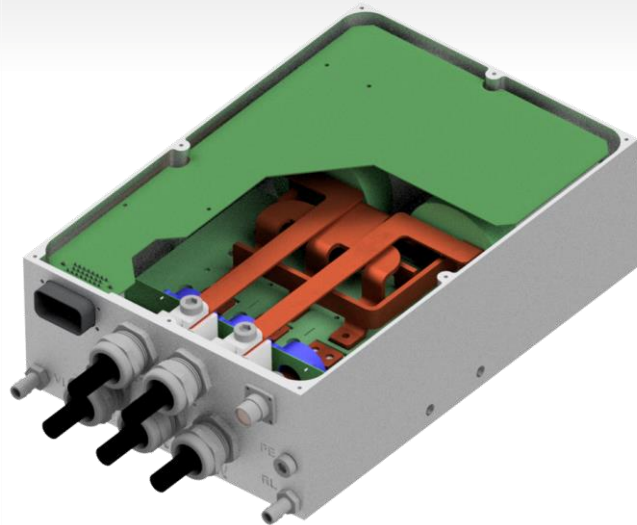
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

IMG Electronic & Power Systems GmbH

Entwicklung • Elektronik- & Gerätefertigung

• Prüfdienstleistungen EMV / Umwelt

www.img-nordhausen.de



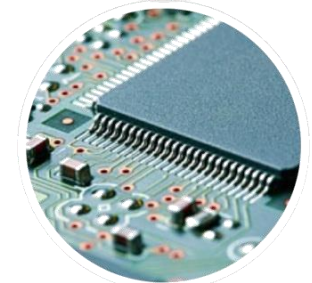
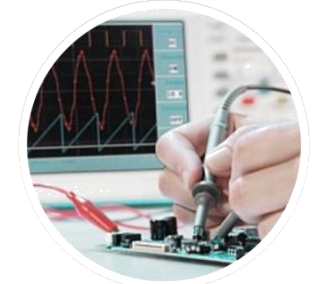
IMG
Electronic & Power Systems

MIELAS – Modularer Multilevel-Inverter für elektromobile Antriebssysteme

1. Kurzvorstellung IMG
2. Zielanwendung des Multilevelumrichters
3. Stand der Technik
4. Versuchsfahrzeug
5. Blockschaltbild
6. Energiespeicher
7. Batteriemanagementsystem
8. Antriebsmotor
9. Powermodul
10. Doppelpulstest
11. Simulation
12. Steuerteil
13. Konstruktion
14. Messgrößen
15. Ausblick

Unsere Geschäftsfelder:

- **Elektronikentwicklung**
 - Hard- und Softwareentwicklung
 - Embedded Systems
 - Batterie-Management-Systeme
 - Leistungselektronik
- **Prüfdienstleistung**
 - Akkreditierte Prüfdienstleistung für EMV, Umwelt
 - Begleitung der Produktentstehung bis zur Serienreife und Zulassung
 - Beratungsleistungen
- **Elektronikfertigung**
 - Fertigung elektronischer Baugruppen und Geräte
 - Spezialisierung auf kleine und mittlere Serien
 - Technologieentwicklung, Dokumentation und Logistik



Mitarbeiter und Umsatzentwicklung:

- 2020: 49 Mitarbeiter – 4,2 Mio. € Umsatz
- 2021: 47 Mitarbeiter – 5,2 Mio. € Umsatz
- 2022: 47 Mitarbeiter – 6,5 Mio. € Umsatz



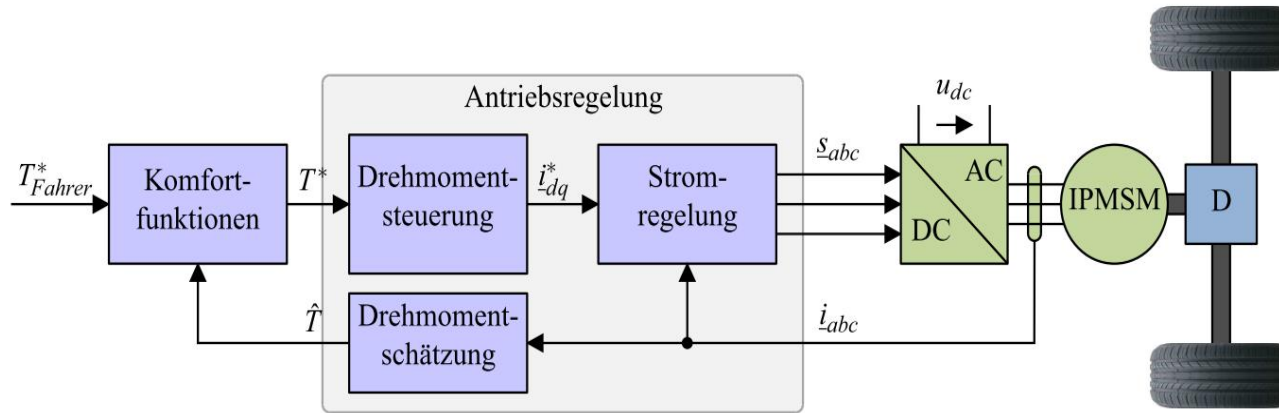
Mögliche Umrüstungen:

- Prototypen und Kleinserienentwicklung und Einzelanfertigung
- Kleintransportfahrzeuge
- Umbau Young-/Oldtimer
- Nutzfahrzeuge
- ÖPNV Fahrzeuge

Umrüstungsschritte:

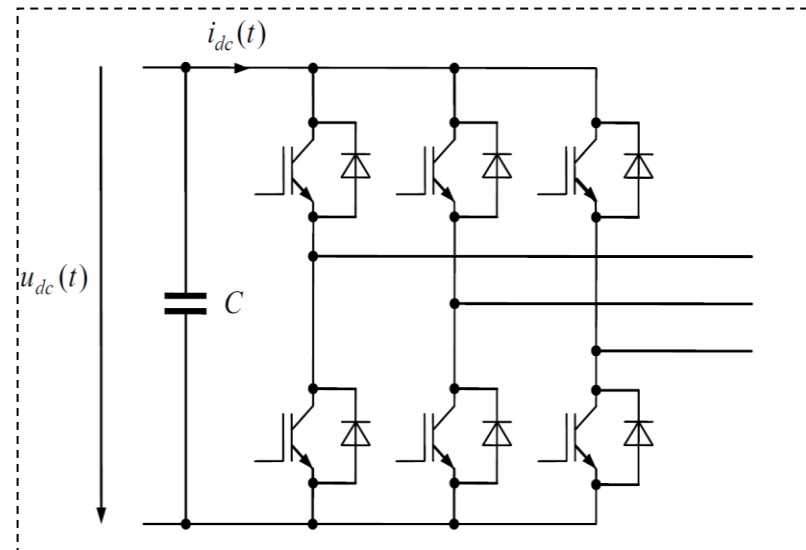
1. Anfrage & Beratung
2. Inspektion & Auftragsdetaillierung
3. Umbau und TÜV-Zertifizierung
4. Garantie und Support





2-Level-IGBT-Wechselrichter

- + einfach, wenig Bauteile
- + günstig (in Massenfertigung)
- Fehlertoleranz
- Wirkungsgrad
- schlecht skalierbar
- EMV (du/dt)
- Phasenspannungsmessung



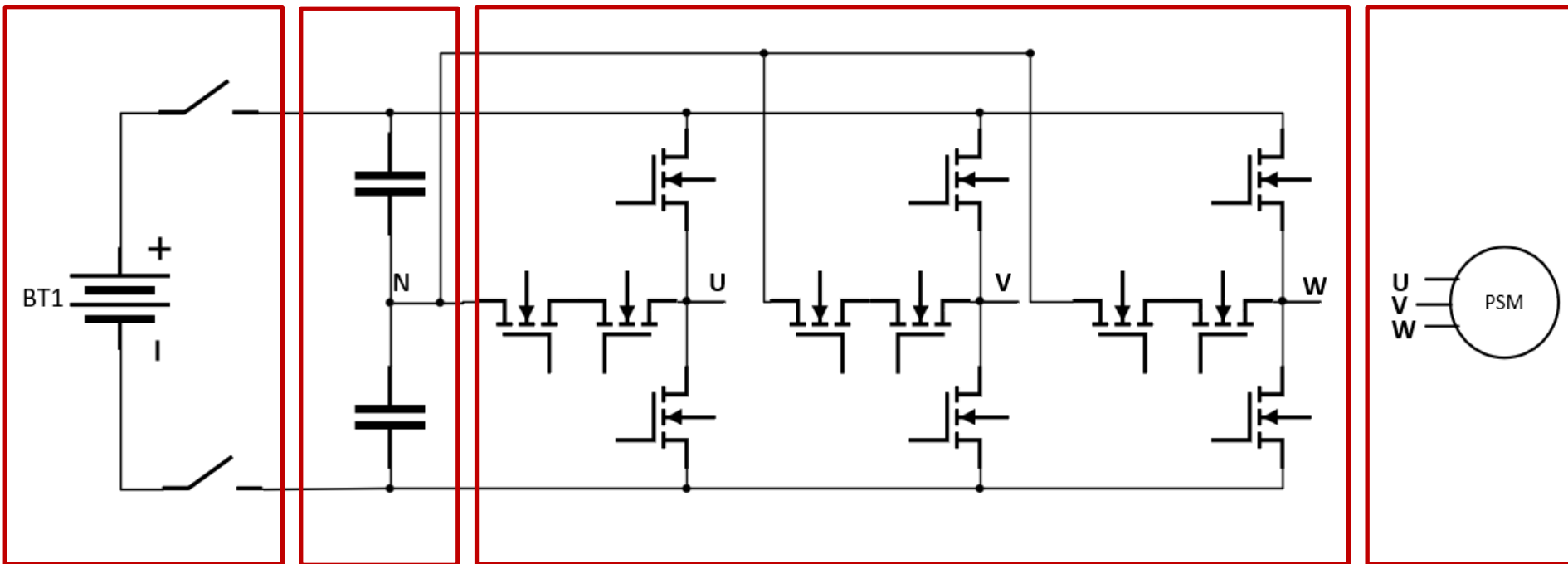


IMG - Versuchsfahrzeug

- Opel Corsa
- Fahrmotor PSM 35 kW
- Energiespeicher LiFePo 420 V, 40 kWh
- Wasserkühlung von Fahrmotor und Traktionsumrichter



Blockschaltbild Multilevel-Umrichter



HV-

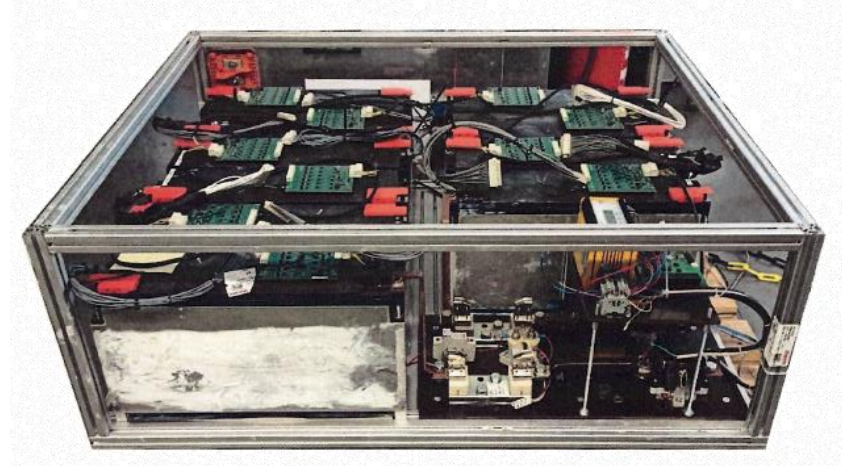
Energiespeicher

DC-Link

Powermodul

Motor

- Energiespeicher besteht aus 10 Stk. 12S1P Modulen
- 1 Modul enthält 12 Stk. LiFePo – Zellen von *Narada Power Source*
- 1 Zelle: 3,5 V / 106 Ah
- 420 V / 210 A / 40 kWh
- Manueller Service-Disconnect
- Batteriemanagementsystem (BMS)
- Isolationswächter
- KILOVAC DC Hochleistungsrelais



AC Impedance (1 kHz)	0.3 mOhm
DC Resistance (ESR) (2 s pulse discharge @ 20 C/ 50% SOC)	0.6 mOhm
Specific energy at 1 C	136 Wh/kg
Energy density at 1 C	300 Wh/l
Specific power (10 s pulse discharge @ 2.6 C/ 100% SOC)	350 W/kg
Power density (10 s pulse discharge @ 2.6 C/ 100% SOC)	780 W/l

Operating conditions*

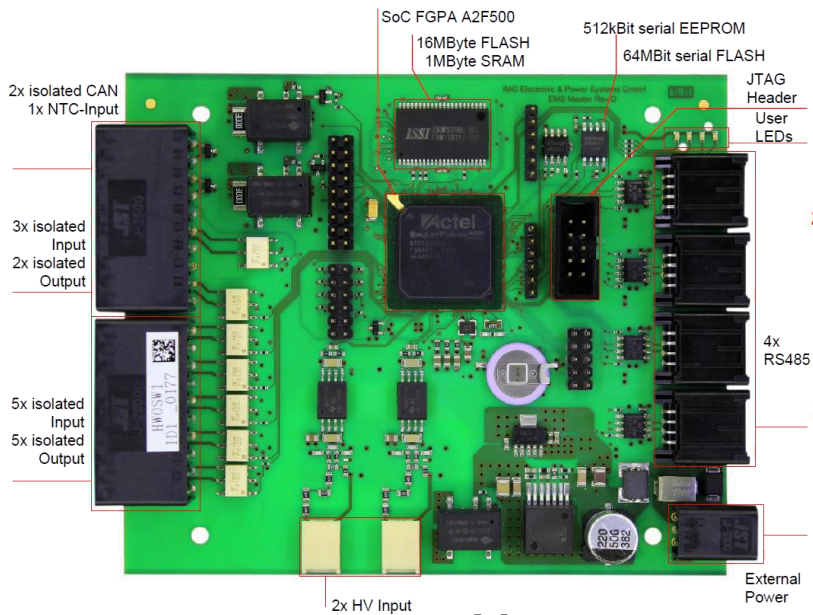
Recommended charge method	Constant current - constant voltage
End of Charge	1 C/10
Maximum charge voltage	21 V
Recommended charge current	up to 52.3 A (0.5 C)
Continuous charge current	up to 105 A (1 C)
Maximum pulse charge current (5 s) (Max. SOC 50 %, average current < 105 A)	210 A (2 C)
Recommended voltage limit for discharge	2.7 V
Lower voltage limit for discharge	2.5 V
Lower voltage limit for pulse discharge	2 V
Recommended discharge current	up to 105 A (1 C)
Maximum discharge current	up to 210 A (2 C)
Maximum pulse discharge current (10 s)	up to 280 A (2.6 C)
Operating temperature	- 20°C to + 60°C
Recommended charge temperature	0°C to + 40°C
Storage and transport temperature	- 20°C to + 50°C
Cycle life at 20°C and 100% DOD (0.3 C charge; 0.3 C discharge)	> 3.500 cycles to 80 % nominal capacity > 4.500 cycles to 60% nominal capacity

* Reference temperature 20°C

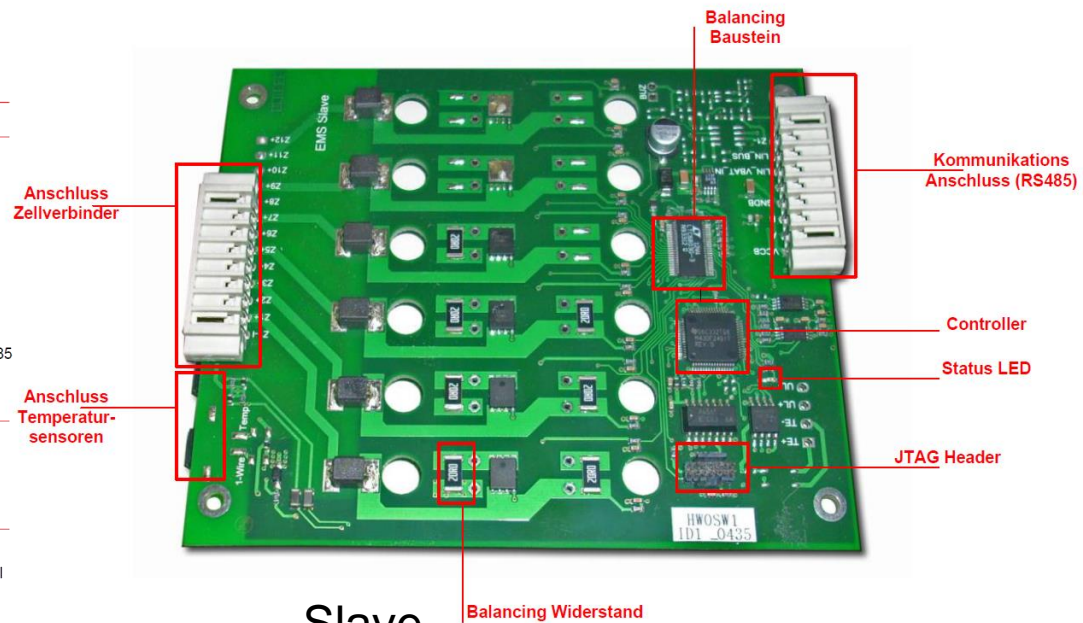


Batteriemanagementsystem

- **Master:** Überwachung der Slaves und des Zellverbundes, Kommunikation zum übergeordneten System über CAN-Bus
- **Slaves:** Spannungsüberwachung und Ausgleich der Zellspannungen (passives Balancing), Kommunikation zum Master über RS485
- Ab einer vorgegebenen Spannungsschwelle werden die Zellen mit zu hohem Ladungsniveau über Widerstände entladen
- Temperaturabhängigkeiten werden berücksichtigt



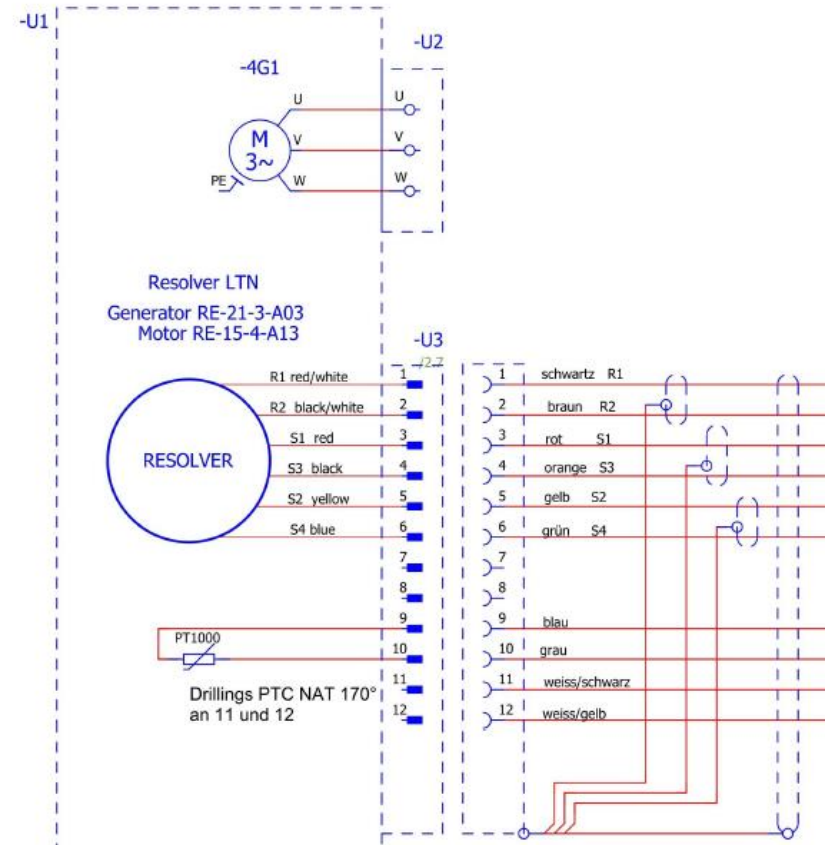
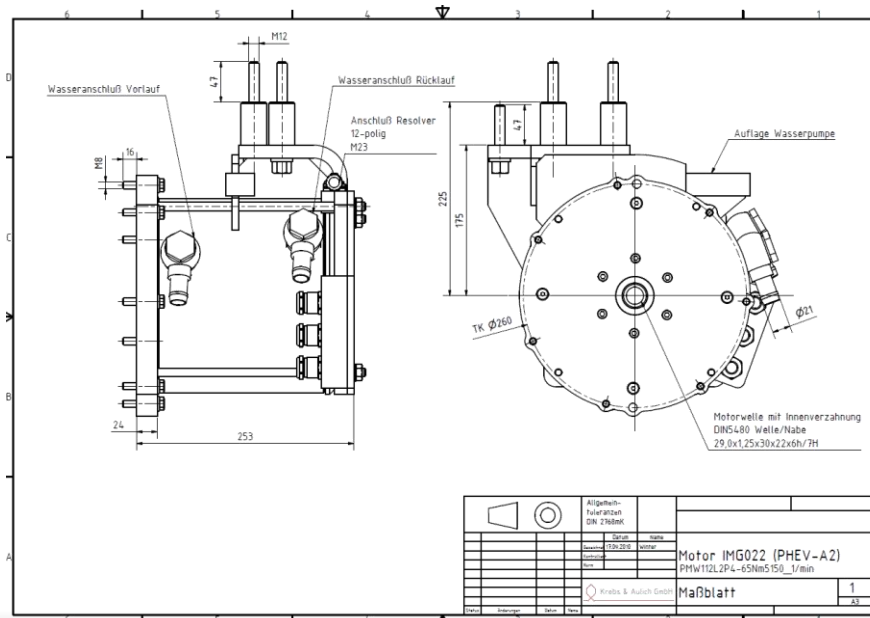
Master



Slave

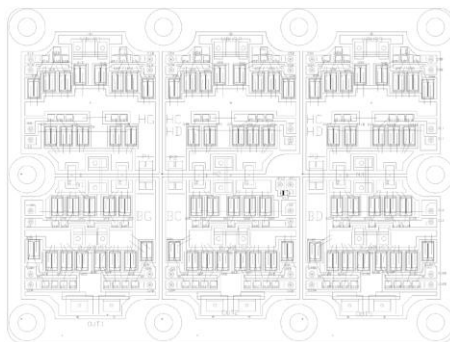
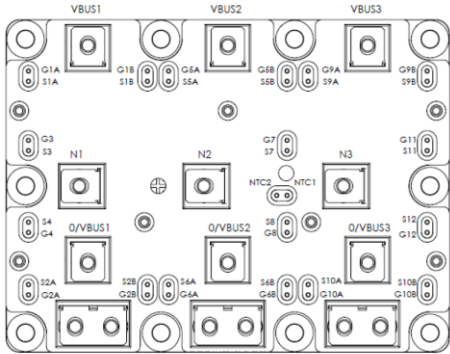
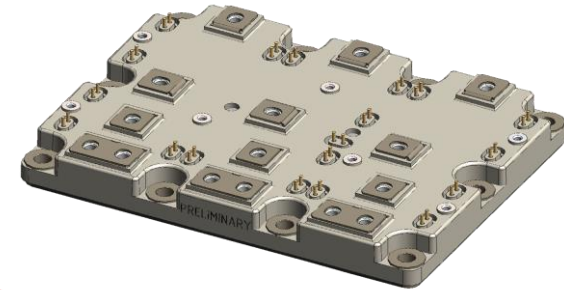
Permanenterregter Synchronmotor

- hohes spezifisches Drehmoment (2...6 Nm / kg)
- hohe spezifische Leistung (2 kW / kg)
- hoher Wirkungsgrad (0,97)
- $p = 4$
- integrierter Temperatursensor
- integrierter Drehgeber
- IP54



Topologie

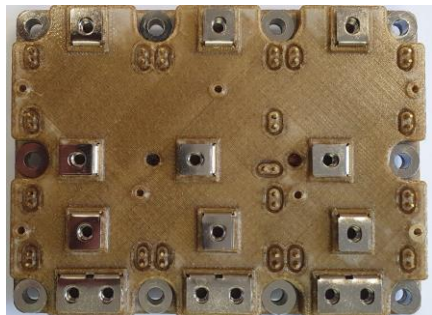
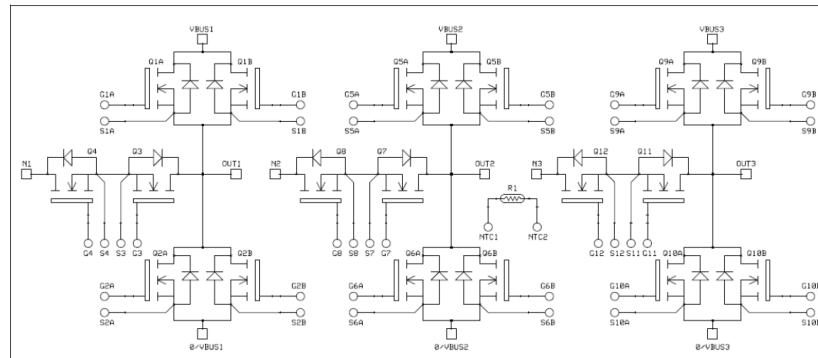
- 3-Level-T-Type - Inverter
- kleinerer Stromrippel / Drehmomentrippel
- reduzierte CM-EMI
- Modularität durch Parallelisierung der TOP und BOT-Schalter
- Pin-Fin-Kühler zum Vergrößern der Kontaktfläche



CMIGSM120THRM078CTAMFG
Target data

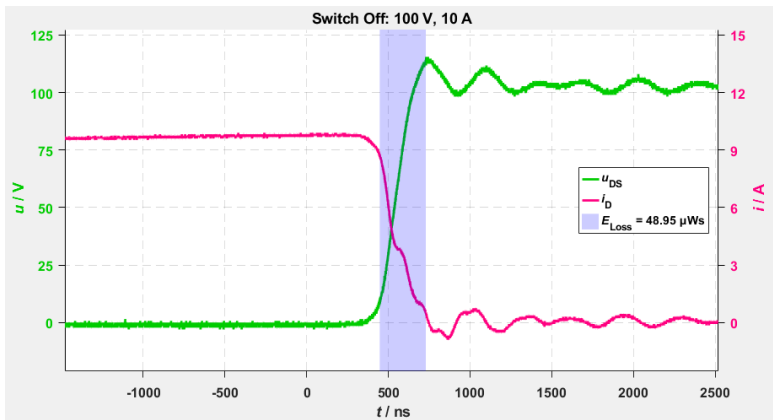
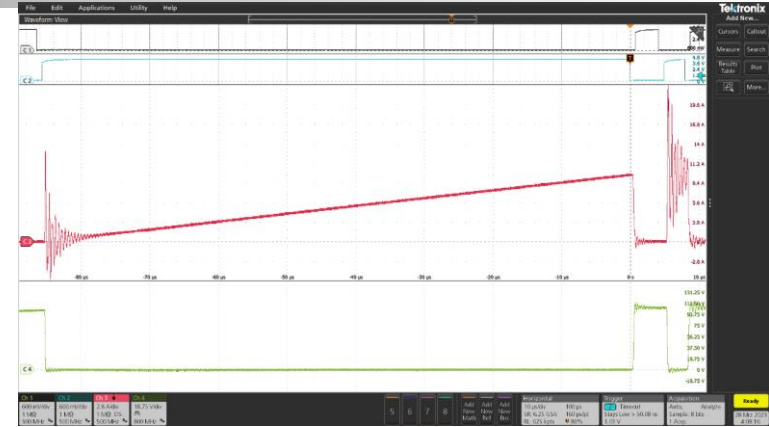
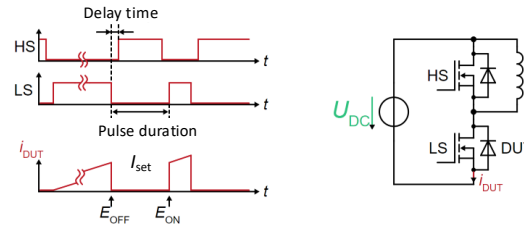
T type
Sic MOSFET Power Module

Sic Power MOSFET :
 $V_{DSS} = 1200V$; $R_{Dson} = 6.3m\Omega$ typ @ $T_j = 25^\circ C$
 $V_{DSS} = 700V$; $R_{Dson} = 5m\Omega$ typ @ $T_j = 25^\circ C$

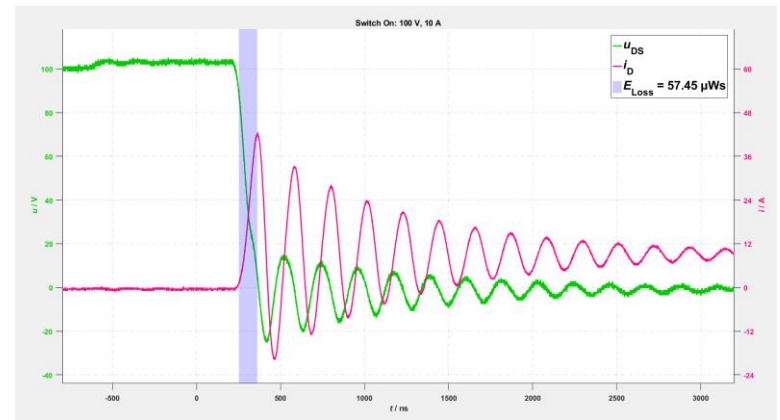


Charakterisierung und Test des Powermoduls

- Standard-Doppelpulstest
- zur Ermittlung der Schaltverluste E_{on} und E_{off} der einzelnen Schalter
- Bestimmung geeigneter Gatewiderstandswerte

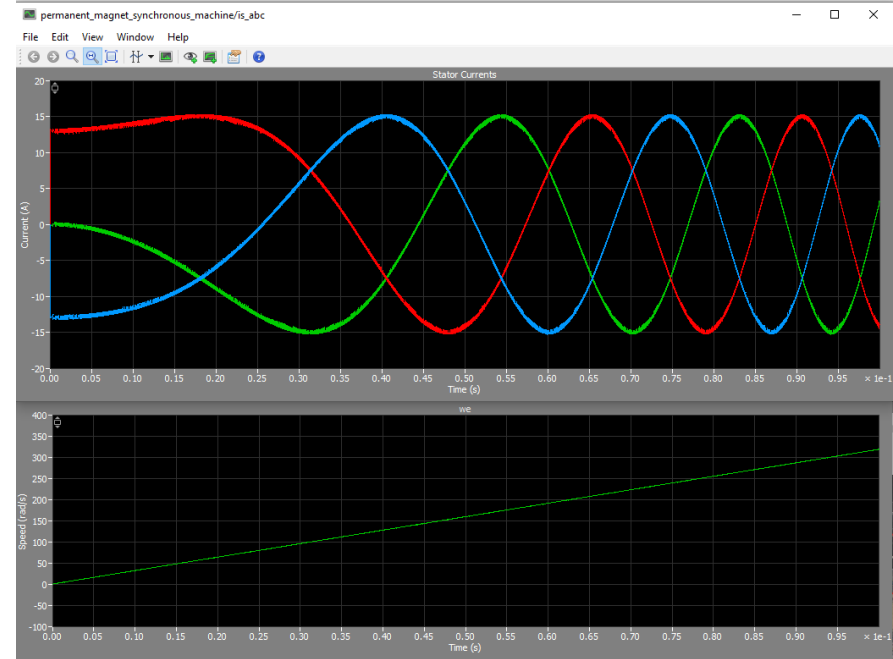
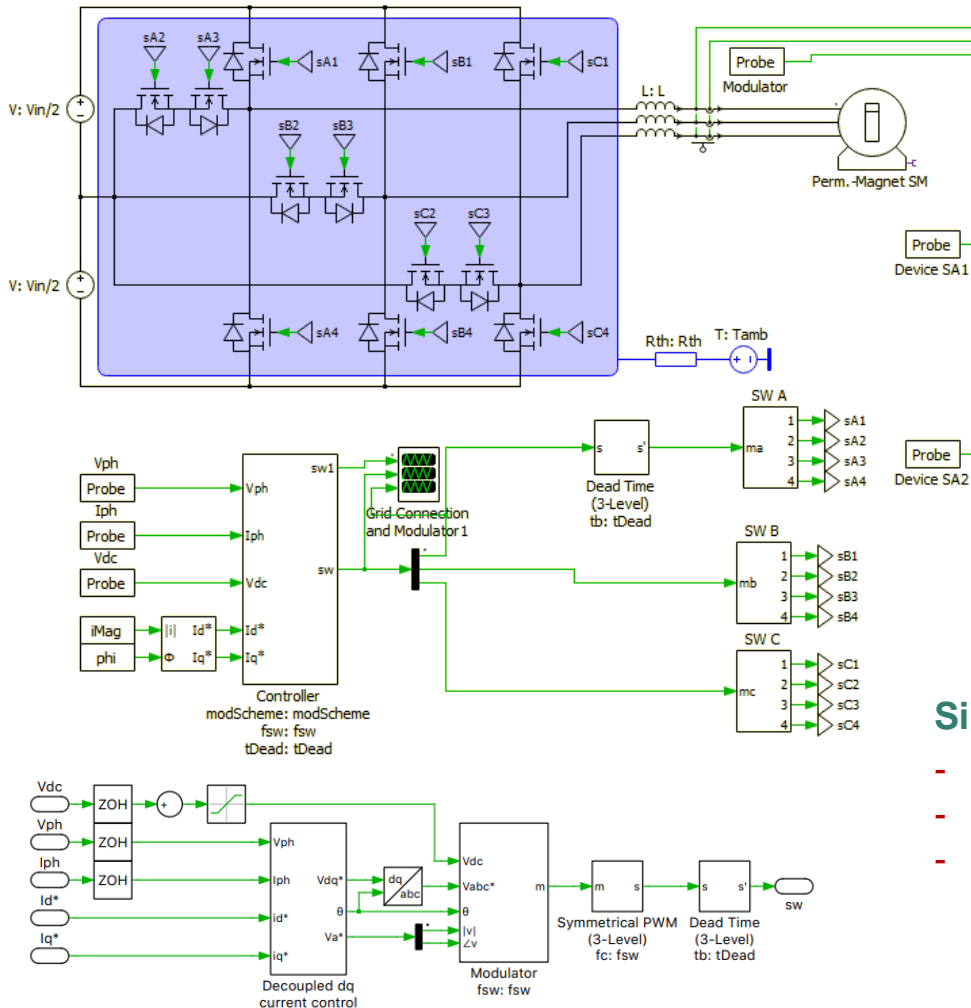


Turn off-Energie bei 100 V und 10 A



Turn on-Energie bei 100 V und 10 A

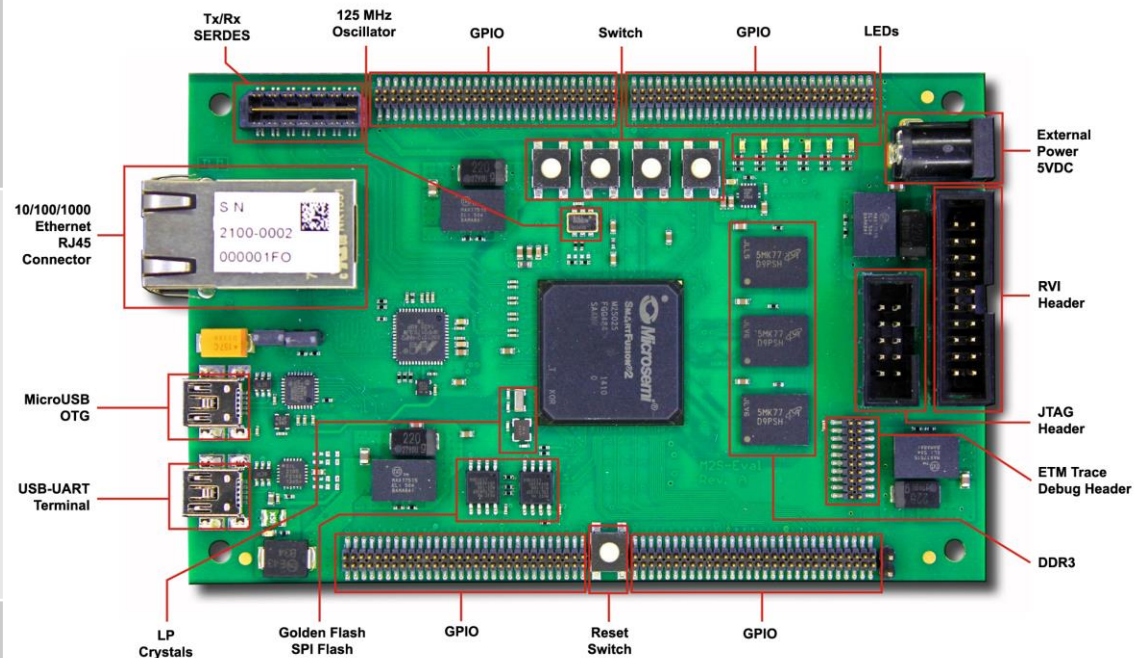
Three-phase T-type inverter



Simulation mit PLECS

- Eingabe der physikalische Parameter des SiC-Moduls
- Thermisches Modell ebenso hinterlegt
- Modellierung der PSM

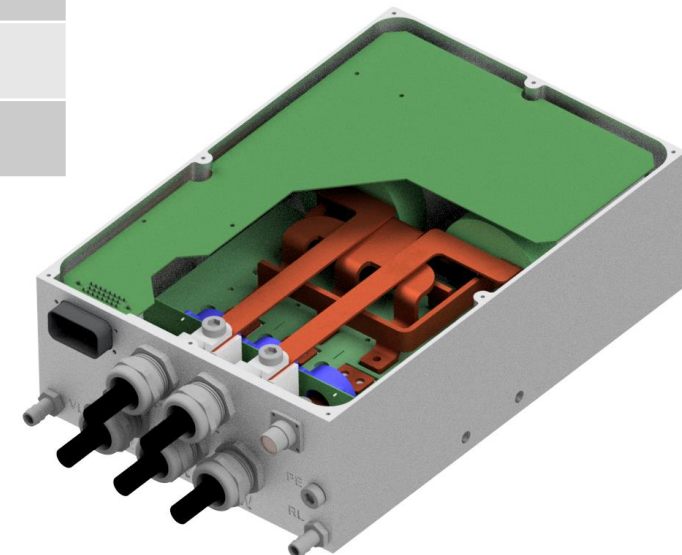
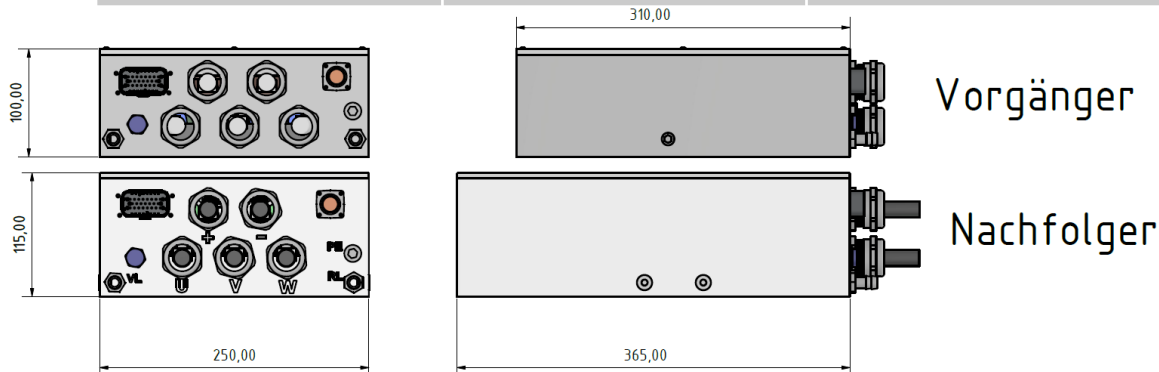
FPGA	M2S025T-FGG484 FPGA mit Cortex™-M3
Memory	<ul style="list-style-type: none"> - DDR3 RAM 256Mx16 + ECC - 16MByte SPI Flash - MX25L12835FM2I-10G - 16MByte SPI Flash - MX25L12835FM2I-10G Golden Flash - 512k I2C EEPROM - M24512-WMN6P
Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> - Triple Speed Ethernet Phy - 88E1512 - USB 2.0 ULPI Phy - USB3320C-EZK - USB to dual UART - CP2105 - SPI - I2C - JTAG, RVI, Trace ETM Interface - 4x Push Button - 6x User LED - bis zu 168 User GPIO - 3 x RX und 3 x TX SERDES
Abm.	- 125,0 mm x 80,0 mm



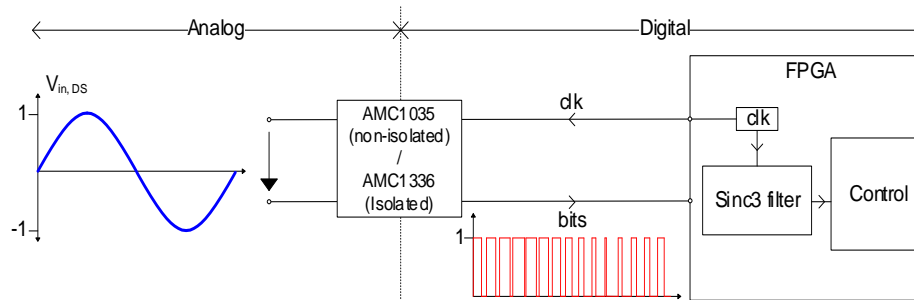
SmartFusion2-Board

- Gehäuse als zweiteiliges Aluminiumfräs-konstruktion (Gehäusewanne und Deckel) mit elektromagnetischen Abschirmeigenschaften
- Enthält den gesamten Leistungsteil (Anschlussblock, Leistungsmodul, Zwischenkreiskondensatoren, Gateansteuerung, Stromschienen)
- den Informationsverarbeitungsteil (FPGA zur Steuerung und Regelung, Messdatenerfassung, Schnittstellen zur Fahrzeugelektronik)
- den Kühlkreislauf zur Abfuhr der Verlustleistung

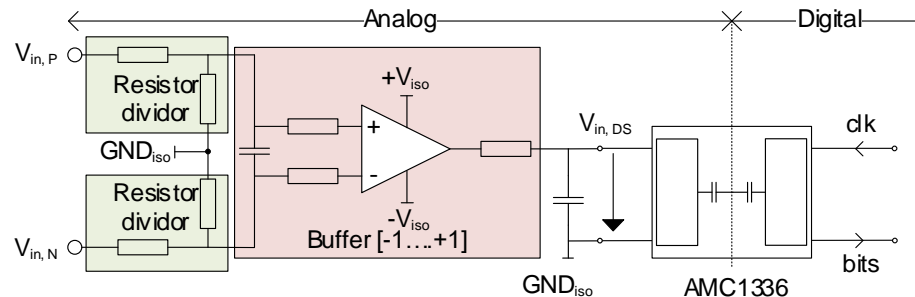
Typ	Vorgänger	Nachfolger
Maße	10 x 25 x 31 cm	12 x 25 x 36,5 cm
Leistung	150 kW	250 kW
Leistungsdichte	19 kW/Liter	23 kW/Liter



- Messung der drei Phasenströme mittels LEM-Wandler HTFS 400
- AD-Wandlung mittels Delta-Sigma-Modulator AMC1336 von TI
- SINC-Filter, Offset und Skalierung sind im FPGA implementiert

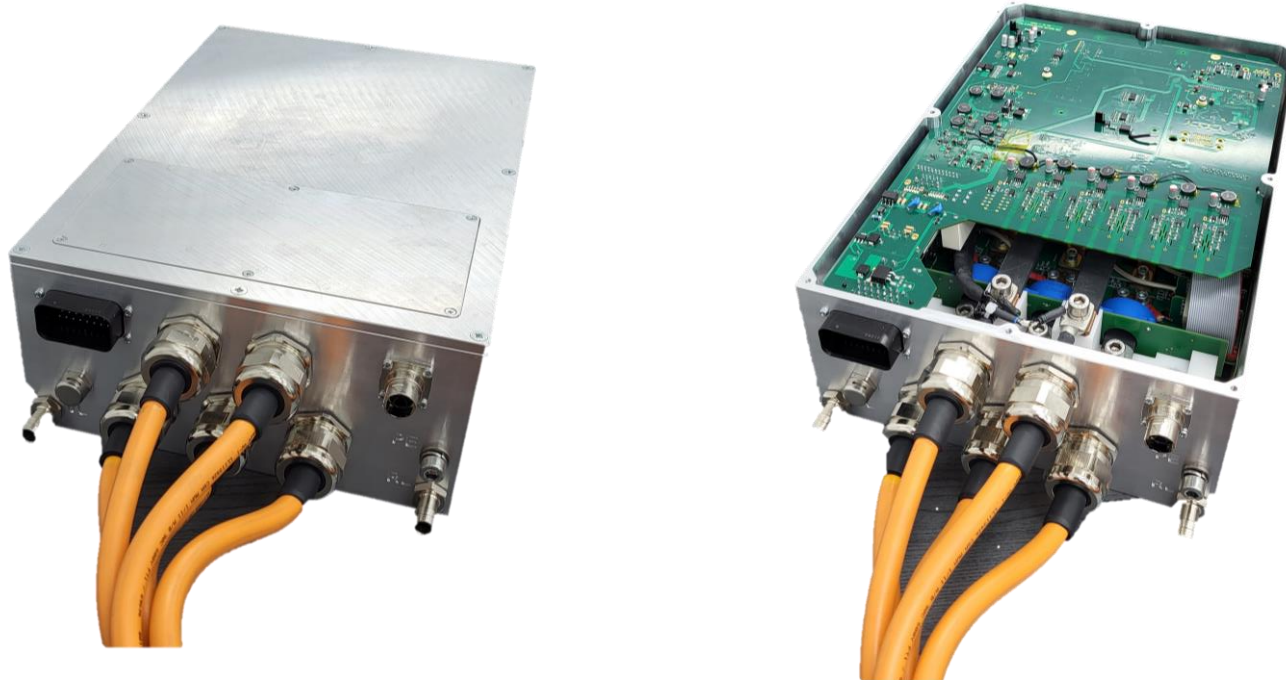


- Messung der drei Ausgangsspannungen sowie der zwei Zwischenkreisspannungen:



Nächste Schritte

- Aufbau und Inbetriebnahme zweier weiterer Funktionsmuster
- Abschluss EMV- und Umweltprüfung
- Wirkungsgradmessungen
- Fahrzeugintegration



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



**MIELAS – Modularer Multilevel-Inverter für
elektromobile Antriebssysteme**

© IMG Electronic & Power Systems GmbH

Abbildungsquellen:
IMG Nordhausen, Uni
Paderborn, Elerra Erfurt