

## Sachbericht zum Verwendungsnachweis – Teil I

Erstellt von: Martin Kroschk  
Erstellt am: 27.02.2023

<b>ZE:</b> Elektrische Automatisierungs- und Antriebstechnik EAAT GmbH Chemnitz Gottfried-Schenker-Str. 4 09244 Lichtenau	<b>Förderkennzeichen:</b> 16ESE0387S
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> <b>Verbundprojekt:</b> Silizium-Leistungselektronik der nächsten Generation für Mobilität, Industrie und Stromnetze der CO <sub>2</sub> -freien Ära – Power2Power <b>Teilvorhaben:</b> Entwicklung und Bau einer neuartigen Stromquelle für die Prüfung von Hochleistungskondensatoren	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2019 – 30.09.2022	
<b>Berichtszeitraum:</b> 01.06.2019 – 30.09.2022	

### Aufgabenstellung

Das Teilvorhaben „Entwicklung und Bau einer neuartigen Stromquelle für die Prüfung von Hochleistungskondensatoren“ der EAAT GmbH Chemnitz hat zum Hauptziel eine technische Lösungen für die Entwicklung einer technischen Stromversorgung zu finden, die kostengünstig und technologisch allen anderen derzeit auf dem Markt verfügbaren Optionen überlegen ist. Diese Stromversorgung soll dabei in der Lage sein Hochleistungskondensatoren unter realitäts- und applikationsnahen Bedingungen einem Wärmestabilitätstest zu unterziehen.

Für die Durchführung dieser Wärmestabilitätstest werden die Kondensatoren über einen längeren Zeitraum (je nach Kondensatorgröße 3 bis 5 Tage) mit einem Stromspektrum aus bis zu 10 Frequenzen belastet. Die Stromversorgung muss diese Ströme bereitstellen. Diese sollen bis zu 1.200 A<sub>eff</sub> im Frequenzbereich von 10 bis 5.000 Hz betragen können.

### Ablauf des Vorhabens und wesentliche Ergebnisse

Leistungskondensatoren besitzen ein breites Spektrum an Anwendungen. Daher mussten zunächst die wesentlichen Anforderungen an einen solchen Prüfstand definiert werden, die hier nochmal kurz zusammengefasst sind:

Eingangsspannung:	3x 400 V ±10%
Leistungsaufnahme:	Max. 35 kW
Zwischenkreisspannung:	2x 0 ... 750 VDC
Max. Ausgangsspannung:	800 V <sub>eff</sub>
Max. Ausgangsstrom:	1.200 A <sub>eff</sub> ; 2.000 A <sub>peak</sub>

Um die eigentlichen technischen Spezifikationen zu erreichen, wurden zunächst die Anforderungen an die im Projekt Power2Power zu verwendenden IGBTs definiert. Für die IGBTs wurden Treiberplatinen entwickelt und im Zusammenspiel mit Muster-IGBTs in einem Doppelpulsprüfstand erprobt. Diese Tests

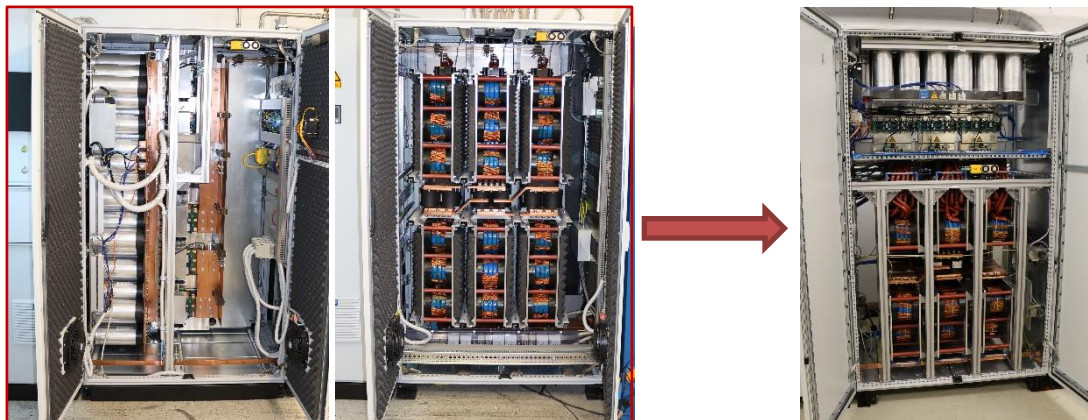
verliefen erfolgreich. Erprobt wurden hierbei der Normalbetrieb und das Abschaltverhalten bei einem Kurzschluss am Ausgang.

Parallel zu den Erprobungen der IGBTs und der Treiber wurden der Regelalgorithmus und das PWM-Ansteuerverfahren verifiziert. Im Vergleich zu früheren Geräten wurde der Stromregler von einer PI-Struktur auf PIDT1 aktualisiert. Dieses komplexere Reglerdesign ist in der Lage, die Stromschwingungen mit geringeren Abweichungen zu regeln. So können auch komplexe Wellenformen mit höherer Genauigkeit gesteuert werden.

Auf Basis der gewonnen Erkenntnisse sowie der simulativen und rechnerischen Ergebnisse der Bauteilauslegungen wurde die Planung für den Demonstrator ausgeführt. Dabei wurde insbesondere auf eine niederimpedante Auslegung des Zwischenkreises geachtet.

Im nächsten Schritt wurde das Design des Demonstrators fertiggestellt. Dafür wurden die Schaltpläne, die Stückliste und das Layout der Schränke erstellt. Der Demonstrator wurde als 3-Level-ANPC-Wechselrichter mit einem hybriden Einsatz von SiC-MOSFETs und den neuen Si-IGBTs konzipiert.

Im Vergleich zu bisherigen Geräten ist die Endstufe wesentlich kompakter (siehe Abbildung 1). Dies konnte einerseits durch die kompakte Bauweise der neuen Leistungsmodule erreicht werden, andererseits führt der Einsatz von 3D-gedruckten Kühleinheiten zu dieser Optimierung.



*Abbildung 1: Neues, kompaktes Design (früher: 2 Schaltschränke, jetzt: 1 Schaltschrank)*

Während der Inbetriebnahme zeigt der Demonstrator ein thermisch stabiles Verhalten. Aber der erste KPI (0,8 kW Verluste pro Schalter) konnte nicht erreicht werden. Trotzdem konnten die Leistungsverluste um rund 14 % reduziert werden. Darüber hinaus führt die kompakte Bauweise der Leistungsstufe auch zu einer Reduzierung parasitärer Induktivitäten und damit zu einer Reduzierung von Spannungsschwingungen und Spannungsüberhöhungen bei Schaltvorgängen der Leistungshalbleiter.

Dieses gute Schaltverhalten innerhalb des Demonstrators und die zuvor erwähnten Ergebnisse der Doppelpulstests führen zum Erreichen des dritten KPI (5 kHz bei 1.250 A).

Bei der Inbetriebnahme des Demonstrators stellt sich jedoch ein Problem heraus. Die Module haben einen internen NTC zur Temperaturmessung. Eine Seite dieses NTC ist mit dem negativen Stromanschluss des Moduls gekoppelt. Aufgrund des geschalteten Betriebs innerhalb des 3-Level-Wechselrichters und dieser Kopplung sieht die Temperaturmessung viele Störungen. Daher war eine exakte Temperaturmessung nicht möglich. Ein langsamer Filter ist erforderlich, um zumindest einen konstanten Wert zu erhalten.

Mit dem genannten Filter wurden Dauertests durchgeführt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die neuen Leistungsmodule das Design des 3-Level-Wechselrichters von EAAT verbessern. Der Demonstrator ist wesentlich kompakter und leistungstärker als bisherige Designs. Die neue Kompaktheit reduziert auch Spannungsüberschwinger und Störungen.

Die EAAT wird weitere Tests durchführen, um die maximalen Parameter des Demonstrators zu ermitteln, da die Testergebnisse zeigen, dass noch Reserven vorhanden sind.

## Sachbericht zum Verwendungsnachweis – Teil II

Erstellt von: Martin Kroschk  
Erstellt am: 27.02.2023

<b>ZE:</b> Elektrische Automatisierungs- und Antriebstechnik EAAT GmbH Chemnitz Gottfried-Schenker-Str. 4 09244 Lichtenau	<b>Förderkennzeichen:</b> 16ESE0387S
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> <b>Verbundprojekt:</b> Silizium-Leistungselektronik der nächsten Generation für Mobilität, Industrie und Stromnetze der CO <sub>2</sub> -freien Ära – Power2Power <b>Teilvorhaben:</b> Entwicklung und Bau einer neuartigen Stromquelle für die Prüfung von Hochleistungskondensatoren	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2019 – 30.09.2022	
<b>Berichtszeitraum:</b> 01.06.2019 – 30.09.2022	

### Aufgabenstellung

Die Aufgabe des Teilvorhabens „Entwicklung und Bau einer neuartigen Stromquelle für die Prüfung von Hochleistungskondensatoren“ ist der Aufbau und die Inbetriebnahme einer Hochstromprüfstation für Leistungskondensatoren. Der Prüfstand sollte die Stromspektren des finalen Anwendungsfalls nachbilden. Leistungskondensatoren für die unterschiedlichsten Anwendungen sind dabei mit Prüfströmen bis 1.200 A<sub>eff</sub> bei einer maximalen Spannung bis 800 V<sub>eff</sub> zu belasten, unabhängig von der Kapazität des Prüfobjekts. Stromspitzen sollen bis zu 2.000 A<sub>peak</sub> möglich sein. Der Strom kann innerhalb der vorgenannten Grenzen sowohl mit rein sinusförmigem Verlauf sein, z.B. 50 Hz, oder auf bis zu 10 Frequenzen im Bereich zwischen 10 Hz und 5 kHz aufgeteilt werden. Die Restwelligkeit im Sinusbetrieb muss THDi ≤ 5 % betragen.

Die Ströme ergeben sich aus den Belastungsverhältnissen durch die angeschlossenen Kondensatoren bei den zu den entsprechenden Zeitpunkten eingestellten Spannungen und Frequenzen.

$$I_{c(1...n)} = U_{c(1...n)} \cdot \omega_{(1...n)} \cdot C$$
$$I_{cges\ rms} = \sqrt{I_{c1}^2 + I_{c2}^2 + \dots I_{cn}^2}$$

Die Prüfung kann sowohl ein- als auch dreiphasig durchgeführt werden. Maximal-Spannung und -Strom werden nicht gleichzeitig benötigt. Der Prüfstand sollte eine maximale Ausgangsleistung von 830 kVA während des 3-Phasen-Tests und 480 kVA während des Einphasen-Tests liefern.

Diagramm 1 und Diagramm 2 zeigen die zulässigen Bereiche der Ausgangsparameter mit den entsprechenden Abhängigkeiten.

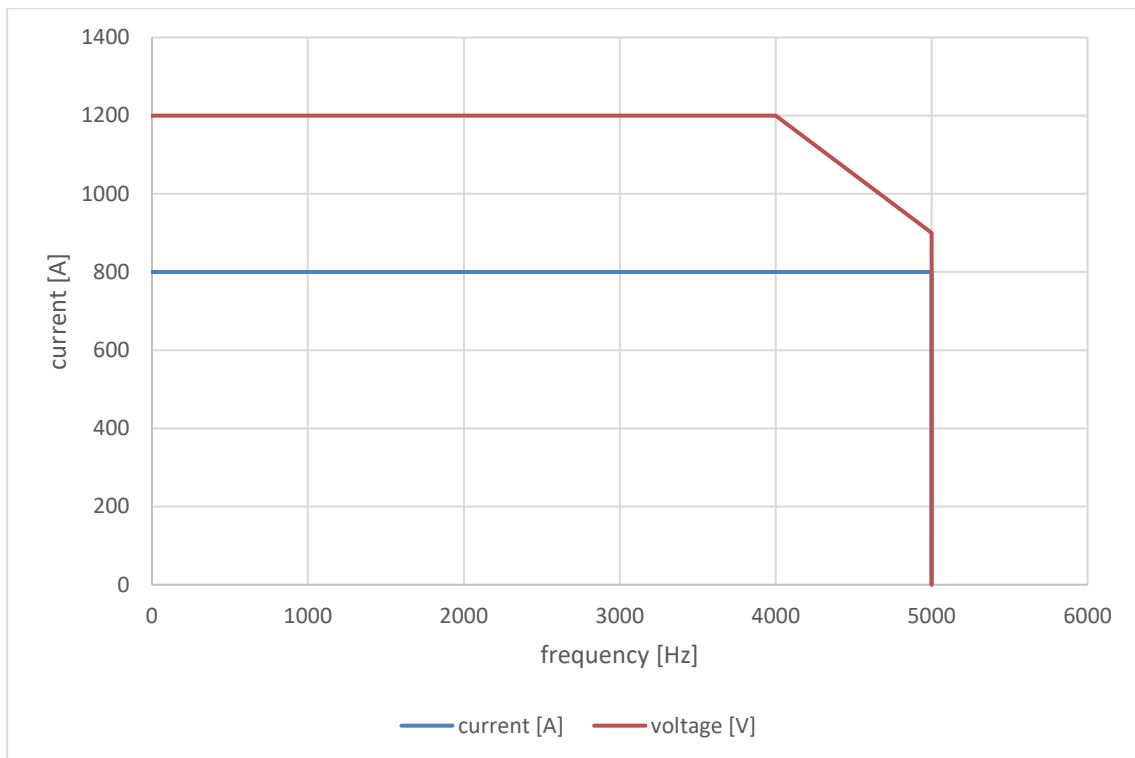


Diagramm 1: Grenzwerte für Strom und Spannung in Abhängigkeit der Frequenz

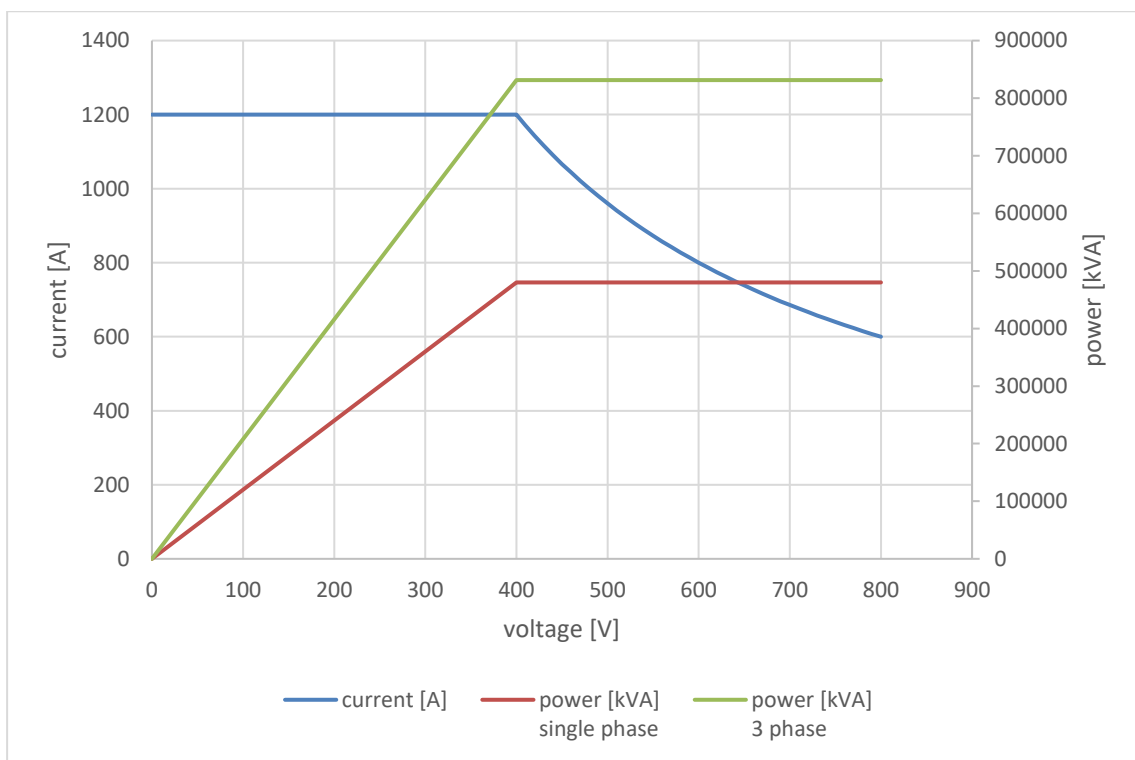


Diagramm 2: Grenzwerte für Strom und Leistung in Abhängigkeit der Ausgangsspannung

Das Prüfobjekt ist während der Prüfung in einem geeigneten Prüfschrank untergebracht. Der Prüfschrank wird max. 1 m vom Hochstromnetzteil entfernt im Schaltschrank integriert und über eine Kupferschiene möglichst niederinduktiv mit dem Hochstromnetzteil verbunden. Der Übergabepunkt im Prüfschrank ist als wassergekühlte Kupferschiene ausgeführt, die zum Anschluss eines Prüflings über verschiedene Abgriffe mit mehreren Anschlusskabeln in unterschiedlichen Höhen geeignet ist.

## Erprobung der IGBTs

Um die beschriebenen Anforderungen zu erfüllen, werden IGBTs mit folgenden technischen Spezifikationen benötigt:

Sperrspannung:	mind. 1.700 V
Dauerstrom:	mind. 1.800 A

Daher wurde für die Umsetzung im Projekt das XHP2-Modul FF1800XTR17T2P5 gewählt und der EAAT als Muster zur Verfügung gestellt.

Um das Verhalten dieses Modules zu verifizieren, wurde zunächst ein Doppelpulsprüfstand konzipiert mit dessen Hilfe das Verhalten der IGBTs im Normalbetrieb und bei einem Kurzschluss am Ausgang untersucht werden soll. Abbildung 1 zeigt den Entwurf dieses Doppelpulsprüfstandes bestehend aus Zwischenkreiskondensatoren, niederimpedanter Busbar, IGBT-Modulen inkl. Treiber und Kühlkörper.

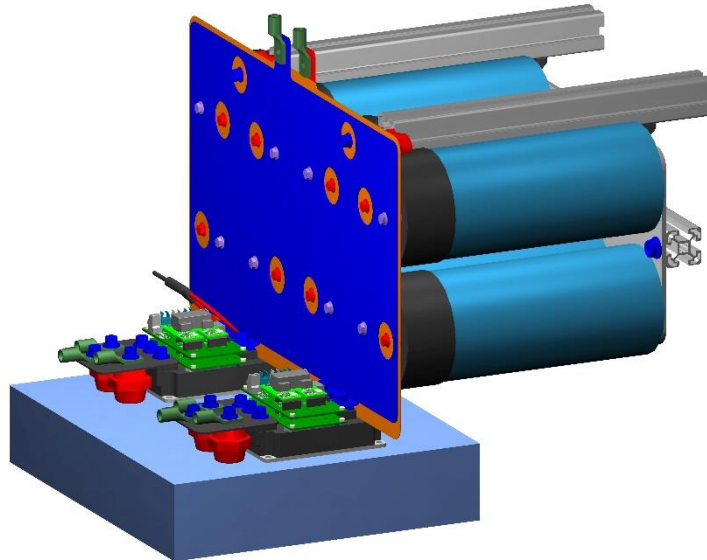


Abbildung 1: Konzeption Doppelpulsprüfstand

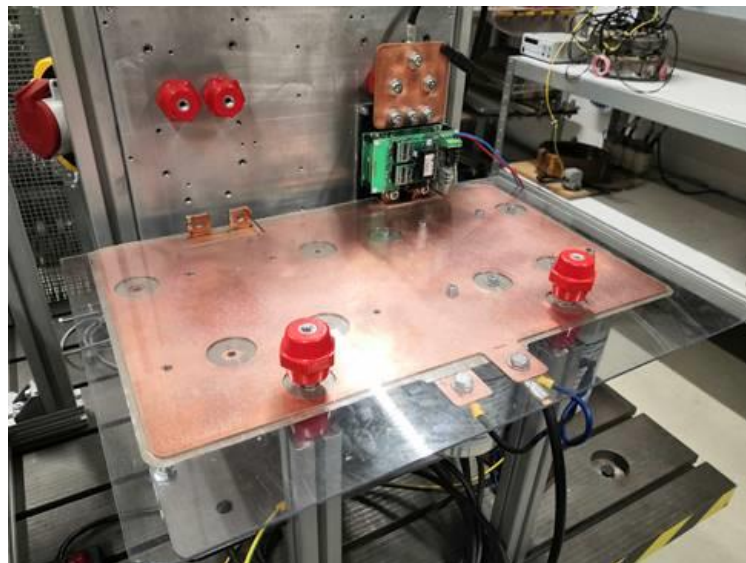


Abbildung 2: Doppelpulsprüfstand zur Untersuchung der IGBTs

Abbildung 2 zeigt den finalen Versuchsaufbau.

Darüber hinaus hat die EAAT eine Leiterplatte für die Gate-Treibereinheit (GDU) für die neuen XHP2-Module (Infineon FF1800XTR17T2P5) entworfen. Die GDU dient der Ansteuerung der IGBTs im Betrieb und der Kurzschlussüberwachung im Fehlerfall.

GDU und IGBT wurden anschließend gemeinsam auf dem beschriebenen Prüfstand erprobt.

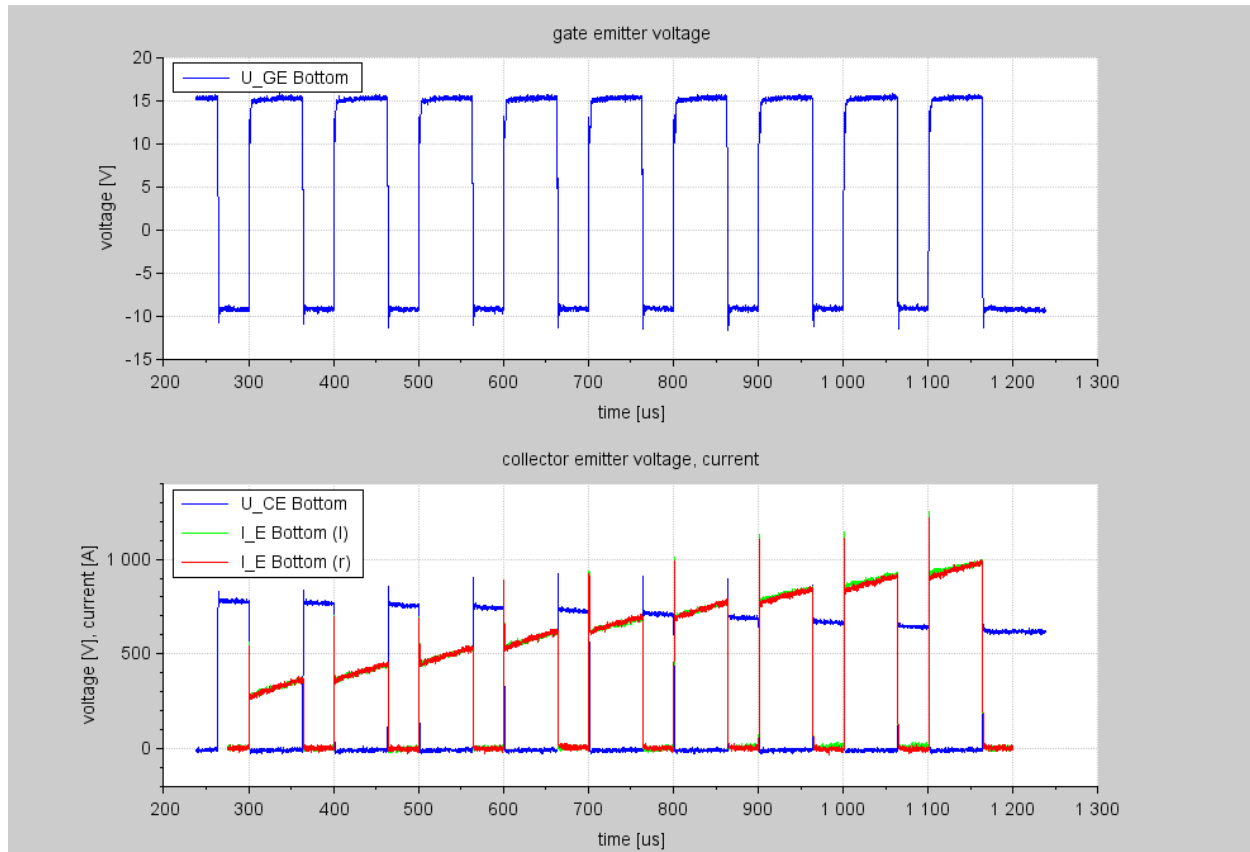


Abbildung 3: Schaltverhalten des FF1800XTR17T2P5 im Normalbetrieb

Abbildung 3 zeigt exemplarisch das Verhalten des Bottom-IGBTs innerhalb des FF1800XTR17T2P5 im Normalbetrieb. Hierbei ist eine symmetrische Stromaufteilung zwischen den beiden Emitteranschlüssen des Moduls zu erkennen. Weiterhin zeigen die Versuche ein stabiles Schaltverhalten, auch bei hohen Strömen. Es traten keine kritischen Überspannungsspitzen im Schaltmoment auf.



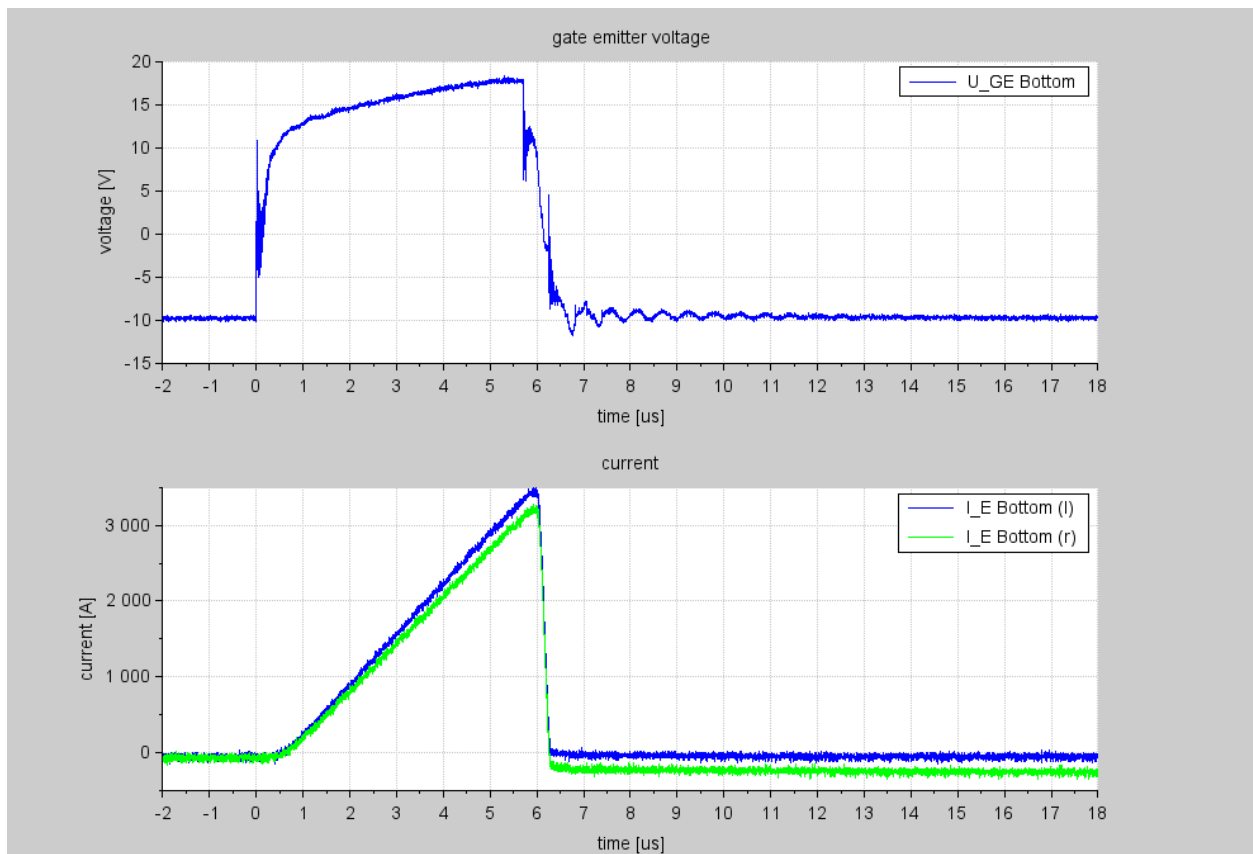


Abbildung 4: Schaltverhalten des FF1800XTR17T2P5 bei einem Kurzschluss

Abbildung 4 stellt das Abschaltverhalten im Kurzschlussfall dar. Die Versuche zeigten hier eine zuverlässige Erkennung von Kurzschlüssen und ein sicheres Abschalten dieser Ströme.

Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden exemplarisch für das Bottom-IGBT innerhalb des Moduls dargestellt. Die Versuche wurden allerdings weiterhin auch für das Top-IGBT und bei unterschiedlichen Zwischenkreisspannungen durchgeführt. Die dargestellten Diagramme zeigen die Ergebnisse mit einer Spannung von 800 V.

Auf Basis der Ergebnisse wurden GDU und IGBT für die weitere Verwendung im Projekt freigegeben.

## Umrichtertopologie

Im nächsten Schritt wurde mit dem Design der eigentlichen Stromquelle begonnen. Hierzu musste zunächst die Umrichtertopologie festgelegt werden.

Gewählt wurde hier die Topologie des 3-Level-ANPC-Wechselrichters, wie in Abbildung 5 dargestellt.

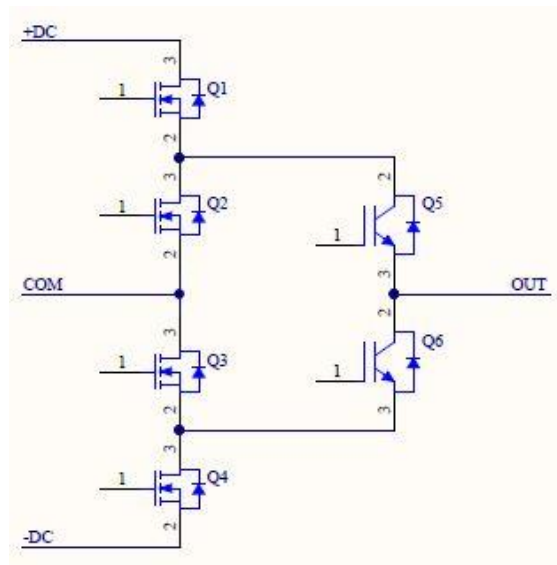


Abbildung 5: Topologie eines 3-Level-ANPC-Wechselrichters

Um eine gute Regelbarkeit und eine gute Sinusform des Ausgangsstroms mit einer Frequenz bis zu 5 kHz zu erreichen, sind hohe Schaltfrequenzen von 30 kHz und darüber erforderlich. Dies ist mit Si-Bauteilen nicht realisierbar. Aber diese hohen Schaltfrequenzen werden nur von Q1, Q2, Q4 und Q4 gefordert. Q5 und Q6 müssen nur mit der Ausgangsfrequenz von 5 kHz schalten, was durch Si-IGBTs erreicht werden kann. Aus diesem Grund wurde sich dazu entschieden die dargestellte Topologie als Hybrid-Topologie aus SiC-MOSFETs und Si-IGBTs aufzubauen.

Aufgrund der technischen Anforderungen können die SiC-MOSFETS nicht durch die neuen IGBTs ersetzt werden.

Zur Erreichung einer hohen Qualität des Ausgangsstromes wird dem Wechselrichter ein LCL-Sinusfilter nachgeschaltet.

Beim Design der Stromquelle galt es weiterhin folgende Punkte zu berücksichtigen:

### konstruktiv

- Eine symmetrische Anbindung der SiC-Module ist essentiell für die Stromaufteilung während der Kommutierung des Stromes von einem Modul auf ein anderes
- Dies trägt ebenfalls zur gleichmäßigen Verteilung der Verluste und damit zur gleichmäßigen Erwärmung der Module bei
- Die Stromschienen dürfen nur minimalen Abstand zueinander haben, damit elektromagnetische Felder kompensiert werden
- Bei der Auswahl der Isolationsmaterialien ist auf eine hohe Spannungsfestigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Teilentladung zu achten
- Die Wicklungen des Ausgangsfilters sollten kontaktgekühlt werden, da eine Kühlung an den Stirnseiten nicht ausreichend ist



- Bei der Filterauslegung ist auf die mögliche Anregung von Resonanzen zu achten

### Leistungsendstufe

- Parallele Module müssen durch getrennte Treiber angesteuert werden, um Spannungsverschiebungen durch Differenzen im  $di/dt$  zu vermeiden
- Die Verschaltung der Module muss unter Berücksichtigung der entstehenden parasitären Komponenten erfolgen
- Diese sind minimal zu halten
- Das gewählte PWM-Verfahren darf in keinem Betriebszustand zu einer Spannungsüberhöhung an den Bauelementen führen
- Das PWM-Verfahren ist so zu gestalten, dass die Kommutierungsvorgänge in der Endstufe nicht in den Strommaxima erfolgen.
- Hierdurch können Unsymmetrien im Strom und Verluste in den Bauteilen reduziert werden.
- Treiber müssen mit einem Active Clamping ausgestattet sein, um evtl. Spannungsspitzen zu bedämpfen
- Alle Komponenten müssen hinsichtlich Ihrer Temperatur überwacht werden

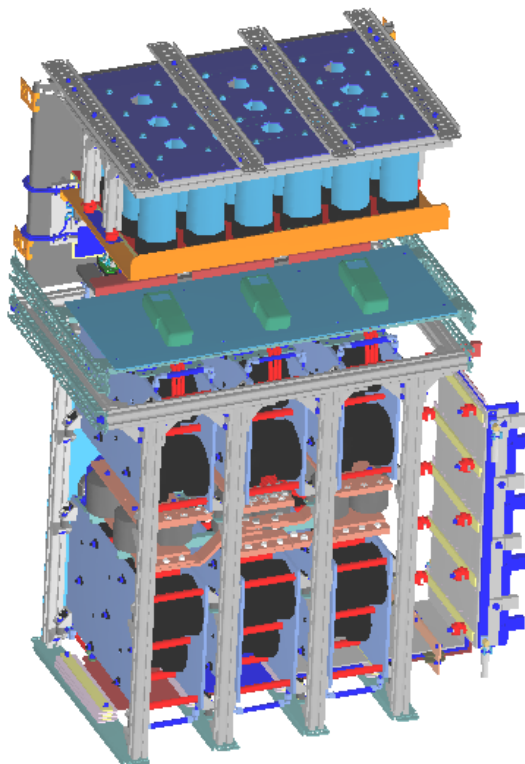
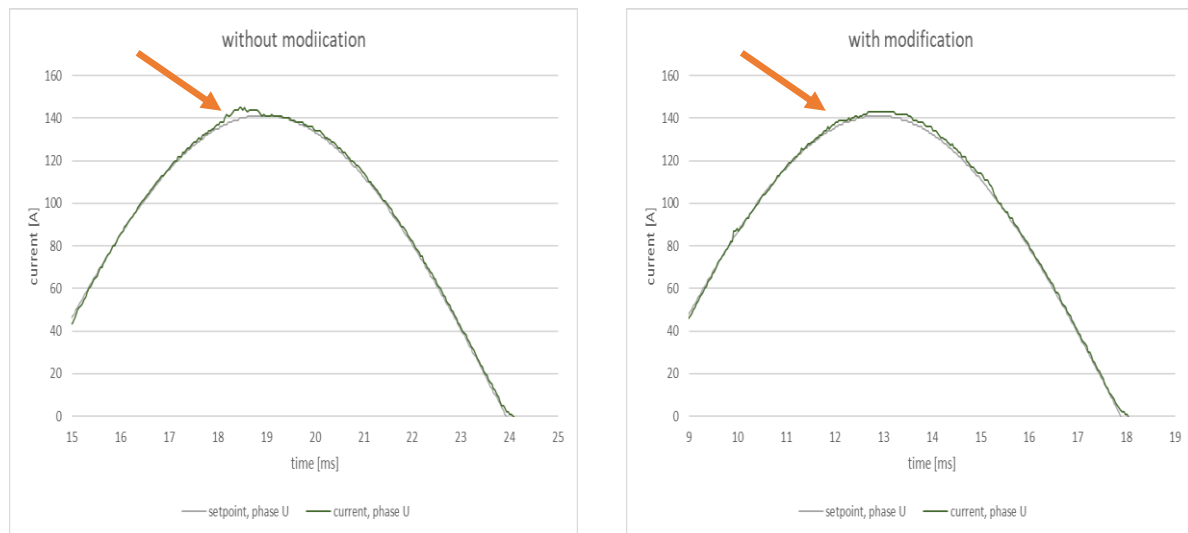


Abbildung 6: Entwurf der Leistungsendstufe

Abbildung 6 zeigt das Design der Leistungsendstufe der finalen Stromquelle, das im Demonstrator umgesetzt wurde.

## PWM-Ansteuerung und Regleralgorithmus

Parallel zu Entwurf des Demonstrators wurden erste Versuche an einem Prüfstand und einem ähnlichen Hybrid-3-Level-Wechselrichter durchgeführt, um die Anforderungen an die Steuerung und Konstruktion sowie das Treiberdesign für die SiC-Leistungsmodule zu überprüfen. Ein Ergebnis dieser Untersuchungen war z.B. die Modifikation des Steueralgorithmus zur Reduzierung des THDi (Total Harmonic Distortion of Current).



*Abbildung 7: Stromverlauf mit und ohne Modifikation der PWM-Erzeugung*

In Abbildung 7 ist der Strom mit und ohne Modifikation dargestellt. Die Modifikation reduziert die Abweichung in der Nähe des Maximalstroms. Konkret wurde hier die PWM-Erzeugung in der Art modifiziert, dass ein zeitgleiches Schalten der Schalter Q5 und Q6 in den unterschiedlichen Phasen vermieden wird.

Weiterhin wurde der Einfluss eines Software-Tiefpassfilters, der dem Regler nachgeschaltet ist, auf die Regelung des schwingungsfähigen Systems untersucht. Das schwingungsfähige System setzt sich hierbei aus dem LCL-Sinusfilter und der Kapazität des Prüflings zusammen.

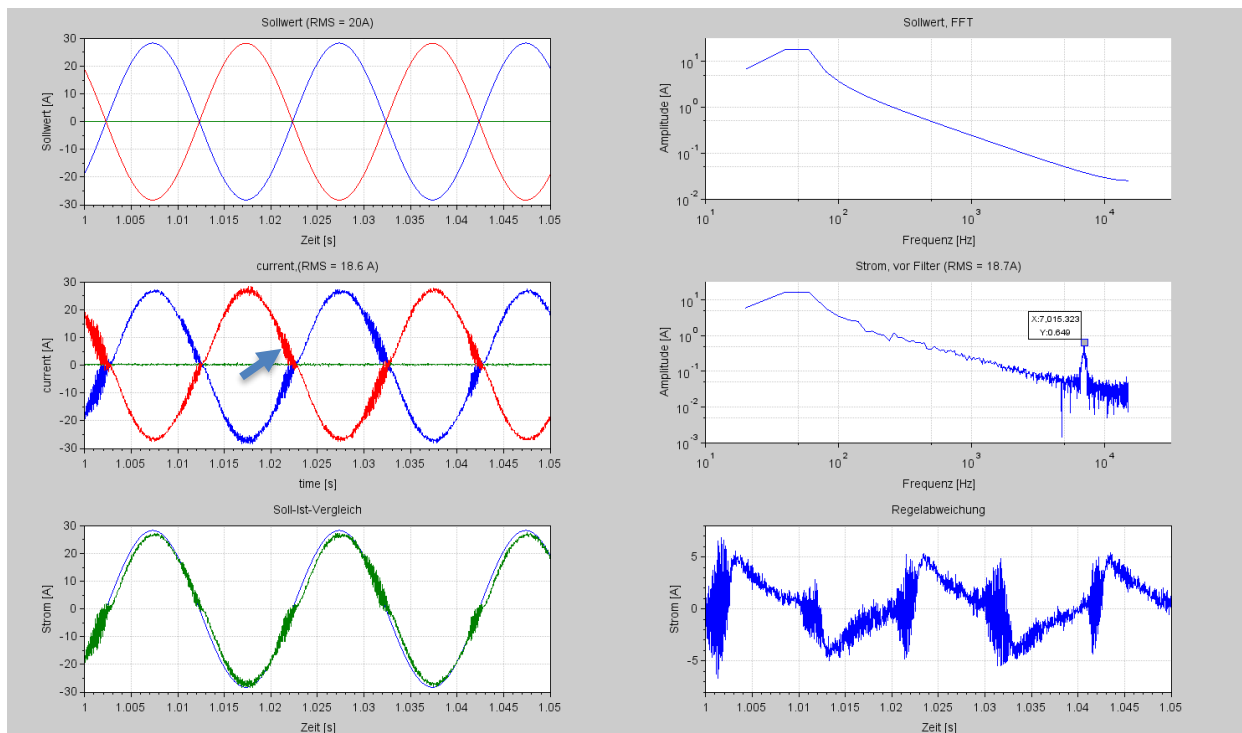


Abbildung 8: Regelung ohne Tiefpassfilter

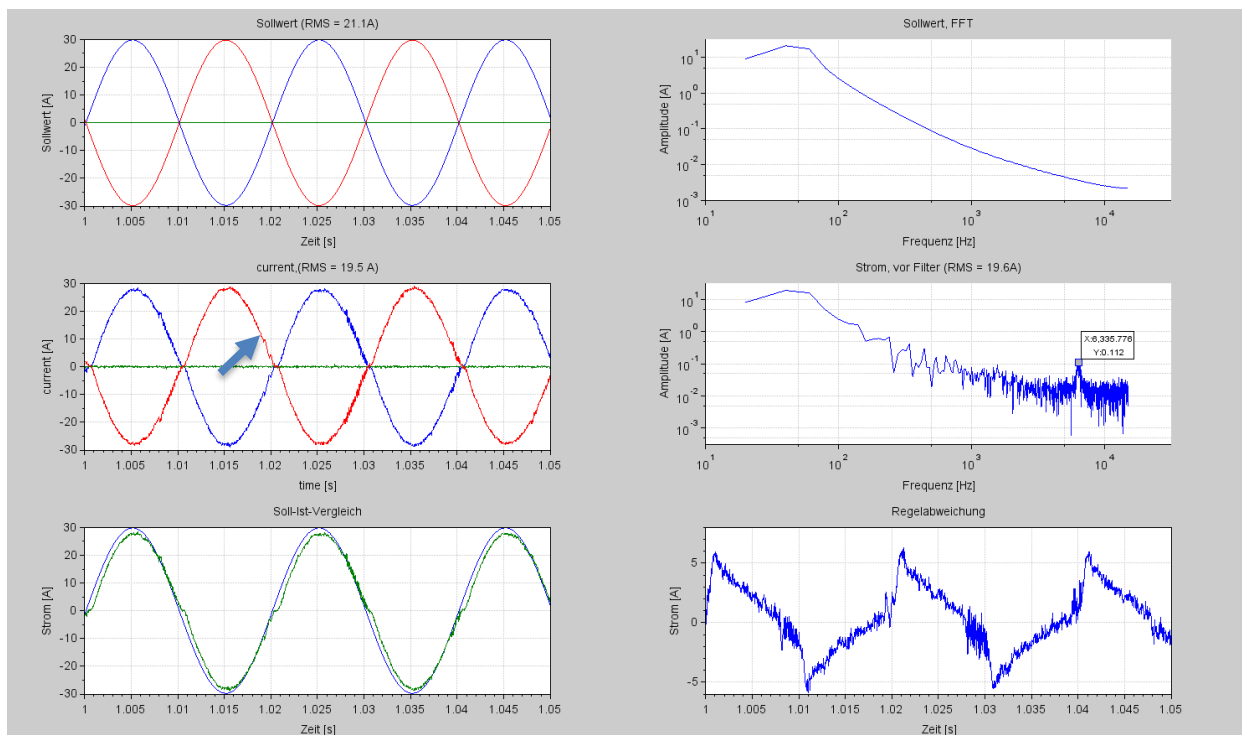


Abbildung 9: Regelung mit Tiefpassfilter

Diese Messungen zeigen, dass ein Ausgangsfilter (Software) wichtig ist, um Schwingungen im Ausgangsstrom zu reduzieren. Durch Resonanzen des Sinusfilters und der Last können Schwingungen am Strom auftreten (siehe Abbildung 8). Diese Schwingungen werden durch das erwähnte Ausgangsfilter reduziert, das zwischen dem PI-Stromregler und dem PWM-Generator angeordnet ist.

Weiterhin wurde im Vergleich zu früheren Geräten der Stromregler von einer PI-Struktur auf PIDT1 aktualisiert. Dieses komplexere Reglerdesign ist in der Lage, die Stromschwingungen mit geringeren Abweichungen zu regeln. So können auch komplexe Wellenformen mit höherer Genauigkeit gesteuert werden. Abbildung 10 zeigt den Ausgangsstrom des Demonstrators mit dem in Tabelle 1 gezeigten applikationsspezifischen Spektrum.

Die Phasen der einzelnen Ströme wurden so gewählt, dass der Spitzenstrom minimal ist. Ansonsten ist der Spitzenstrom mit über 2.800 A zu hoch für den Demonstrator.

Tabelle 1: Applikationsspezifisches Stromspektrum

Frequency [Hz]	Effective current [A]	Phase [°]
50	675	145,15
100	410,33	94
150	466,41	37
200	521,42	255,7
250	570,92	0

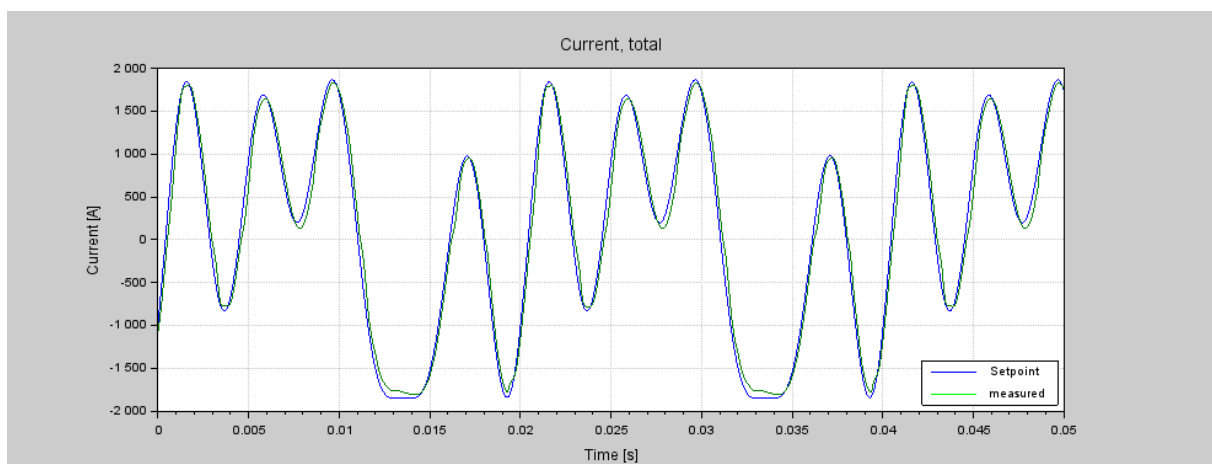
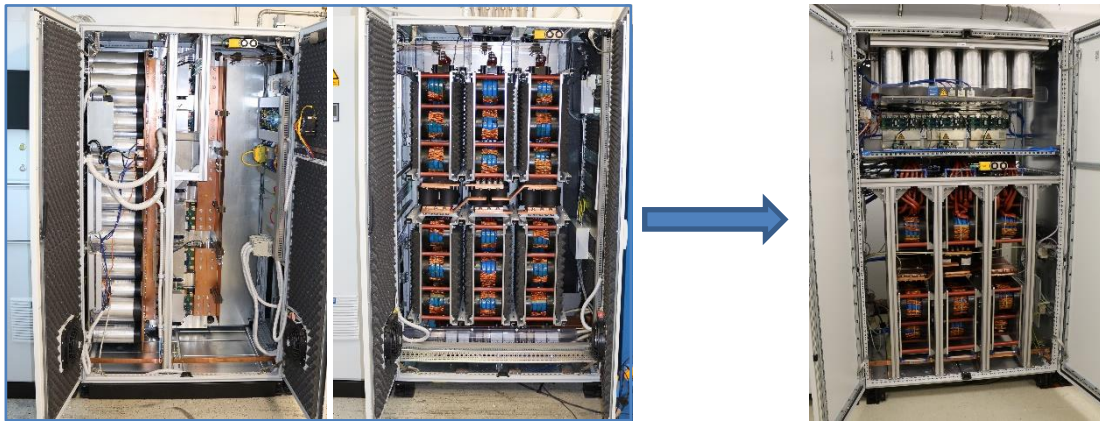


Abbildung 10: Soll- und Istwert des Stromes

## Aufbau und Inbetriebnahme des Demonstrators

Im nächsten Schritt wurde das Design des Demonstrators fertiggestellt. Dafür wurden die Schaltpläne, die Stückliste und das Layout der Schränke erstellt. Der Demonstrator wurde, wie bereits erwähnt, als 3-Level-ANPC-Wechselrichter mit einem hybriden Einsatz von SiC (Silizium-Carbit)-MOSFETs und den neuen Si (Silizium)-IGBTs konzipiert.

Im Vergleich zu bisherigen Geräten ist die Endstufe wesentlich kompakter (siehe Abbildung 11). Dies konnte einerseits durch die kompakte Bauweise der neuen Leistungsmodule erreicht werden, andererseits führt der Einsatz von 3D-gedruckten Kühleinheiten zu dieser Optimierung.



*Abbildung 11: Neues, kompaktes Design (früher: 2 Schaltschränke, jetzt: 1 Schaltschrank) der Leistungsendstufe inkl. Sinusfilter*

Neben dem Schaltschrank, der die Endstufe beinhaltet, besteht der Demonstrator noch aus 2 weiteren Schaltschränken.

Der Steuerungsschrank beinhaltet u.a.:

- die SPS,
- den Controller zur Steuerung des Wechselrichters und
- den IPC zur Visualisierung der grafischen Benutzeroberfläche.

Der dritte Schrank dient zur Unterbringung des Prüflings und verhindert eine Berührung von spannungsführenden Teilen während der Prüfung.



Abbildung 12: Demonstrator

Abbildung 12 zeigt den Demonstrator.

Während der Inbetriebnahme zeigt der Demonstrator ein thermisch stabiles Verhalten. Aber der erste KPI (0,8 kW Verluste pro Schalter), das zu Beginn des Projektes definiert wurde, konnte nicht erreicht werden. Trotzdem konnten die Leistungsverluste um rund 14 % reduziert werden. Darüber hinaus führt die kompakte Bauweise der Leistungsstufe auch zu einer Reduzierung parasitärer Induktivitäten und damit zu einer Reduzierung von Spannungsschwingungen und Spannungsüberhöhungen bei Schaltvorgängen der Leistungshalbleiter. Hierdurch konnte auf den Einsatz von Entstörnetzwerken über den IGBTs verzichtet werden, was zu einer weiteren Reduzierung der Schaltverluste führt.

Das gute Schaltverhalten innerhalb des Demonstrators und die zuvor erwähnten Ergebnisse der Doppelpulstests führen zum Erreichen des dritten KPI (5 kHz bei 1.250 A).

Bei der Inbetriebnahme des Demonstrators zeigte sich jedoch ein Problem. Die Module haben einen internen NTC zur Temperaturmessung. Eine Seite dieses NTC ist mit dem negativen Stromanschluss des Moduls gekoppelt. Aufgrund des geschalteten Betriebs innerhalb des 3-Level-Wechselrichters und dieser Kopplung sieht die Temperaturmessung starke Störungen. Daher war eine exakte Temperaturmessung nicht möglich. Ein langsamer Filter war erforderlich, um zumindest einen konstanten Wert zu erhalten. Mit dem genannten Filter wurden Dauertests durchgeführt. Diagramm 3 zeigt das thermische Verhalten aller Leistungshalbleiter. Die neuen XHP2-Leistungsmodule werden durch die Plots „1C“ und „3C“ dargestellt. Die Unterschiede zwischen beiden Plots lassen sich zwar mit den genannten Störungen erklären, allerdings sind beide Leistungsmodule weit von ihrer maximal zulässigen Temperatur entfernt.



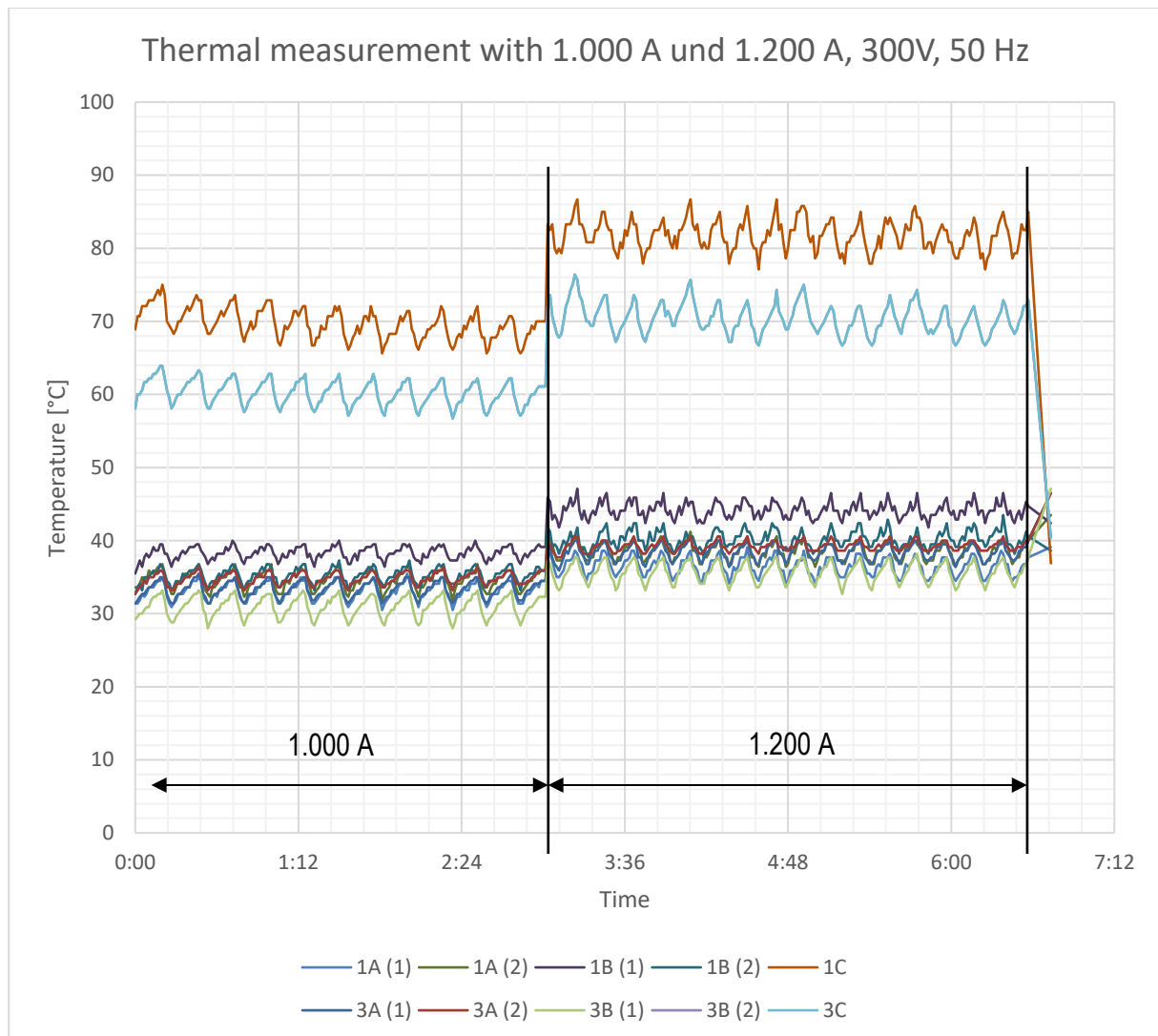


Diagramm 3: Erwärmungsmessungen im Demonstrator

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die neuen Leistungsmodule das Design des 3-Level-Wechselrichters von EAAT verbessern. Der Demonstrator ist wesentlich kompakter und leistungstärker als bisherige Designs. Die neue Kompaktheit reduziert auch Spannungsüberschwinger und Störungen. Die EAAT wird weitere Tests durchführen, um die maximalen Bewertungen des Demonstrators zu ermitteln, da die Testergebnisse zeigen, dass noch Reserven vorhanden sind.

## **Ergänzende Inhalte**

### Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

#### *0813 – Material*

In dieser Position sind alle Materialien abgerechnet worden, die für Vorversuche und den Aufbau des Demonstrators benötigt wurden. Hierzu zählen Schaltschränke, Leiterplatten, Steuerungstechnik, Kupferstromschienen, etc. Um nur einige zu nennen.

#### *0837 – Personal*

In dieser Position sind alle Personalkosten abgerechnet worden, die sowohl für die Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten im Projekt als auch für den Aufbau von der beschriebenen Versuchsstände und des Demonstrators benötigt wurden.

### Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die im Projekt Power2Power durchgeführten Arbeiten wären ohne eine Förderung für die EAAT nicht durchführbar gewesen und die Ergebnisse wären somit nicht erzielt worden.

Die EAAT hat die Arbeiten im Laufe des Projektes nach sorgfältig und nach den gängigen technischen Regeln ausgeführt. Der Umfang war hierbei der Komplexität und dem Innovationsgrad der Aufgabenstellung entsprechend.

### Verwertungsplan

Die EAAT plant die Ergebnisse u.a. wie folgt zu verwenden:

#### *Development of Hardware*

EAAT wird die Ergebnisse nutzen, um ihre Produkt- und Entwicklungsdienstleistungen für Leistungselektronik zu verbessern. Dank der Ergebnisse können kundenspezifische Endstufen verkleinert und die Leistung steigern werden.

#### *Komponententest als Dienstleistung*

Mit dem Demonstrator ist EAAT in der Lage Komponententest als Dienstleistung anzubieten. Dies kann u.a. für Kondensatoren- und Induktivitätenhersteller interessant sein. Hierzu gab es bereits erste Gespräche mit einem Hersteller.

### Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte bei anderen Stellen

Zu Beginn des Projektes war zunächst eine Stromquelle mit 1.000 A geplant. In Gesprächen mit Kondensatorherstellern wurde dies jedoch als Minimalanforderung definiert. Wünschenswert wären 1.200 A. Diese Wünsche wurden bereits bei der Spezifikationserstellung für die Anlage berücksichtigt und im weiteren Projektverlauf umgesetzt.

### Erfolgte oder geplante Veröffentlichung

Die EAAT hat bisher keine Veröffentlichungen verfasst. Eine Veröffentlichung von Ergebnissen und Nebenergebnissen, vor allem in den sozialen Medien, wird derzeit geprüft.