

# Moderne Leistungshalbleiter für Windkraftanlagen

## Modern Power Module technology for wind turbine inverter with increased reliability

Michael Slevan, Infineon Technologies AG, Max-Planck-Str. 5, D-59681, Warstein  
Jürgen Schiele, Infineon Technologies AG, Max-Planck-Str. 5, D-59681, Warstein

### Kurzfassung

Der stetig wachsende Anteil der erneuerbaren Energien in der Energieerzeugung bringt einen erhöhten Bedarf an Leistungshalbleitern mit sich. Windkraftanlagen gehören zu den wirtschaftlichsten regenerativen Energiequellen heutzutage. Einen wichtigen Bestandteil bilden komplexe Frequenzumrichtersysteme, welche eine netzverträgliche Einspeisung des erzeugten Stromes ermöglichen. Das Herzstück dieser Umrichter stellen Leistungshalbleiter mit sehr hoher Zuverlässigkeit dar, welche den speziellen Anforderungen in dieser Applikation Rechnung tragen. Der vorliegende Artikel behandelt das heute gängigste Konzept des doppelt gespeisten Asynchrongenerators, sowie die Wirkungsweise der entsprechenden Umrichtersysteme. Besonders im Focus stehen die Anforderungen an die Leistungshalbleiter bezüglich Lebensdauer und Zuverlässigkeit.

### Abstract

The continuously increasing part of renewable energy in the generation of electricity requires a huge quantity of power semiconductors. Among the most cost effective renewable energy sources are the wind power plants. Frequency converters constitute an important part and facilitate the grid compliant power supply. Power semiconductors meet the requirements of this application with high reliability and build the core of these converters. This paper includes the common topology of wind power plants with double feed asynchronous generator as well as the mode of operation of the frequency converter systems. The special focus towards power semiconductors is upon durability and reliability.

## 1 WEA mit doppelt gespeistem Asynchrongenerator

Der doppelt gespeiste Asynchrongenerator (DGAG) kommt häufig in Windkraftanlagen zum Einsatz.

### 1.1 Prinzip

Der DGAG stellt in Verbindung mit einem Frequenzumrichter ein drehzahlvariables System dar. Im Unterschied zu anderen Systemen trägt der Rotor keinen Kurzschlussläufer, sondern eine dreiphasige Wicklung welche über Schleifringe herausgeführt wird. Mit einem Frequenzumrichter wird sowohl die Erregerleistung als auch ein Drehfeld mit variabler Phasenlage zur Verfügung gestellt. Der Sollwert des Rotordrehfeldes wird durch die Differenz des synchronen Netzdrehfeldes im Stator und der Rotordrehzahl gebildet. Der Betrieb der DGAG kann damit sowohl unter- als auch übersynchron erfolgen.

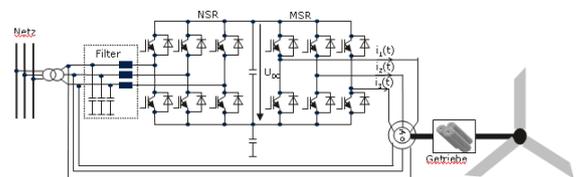
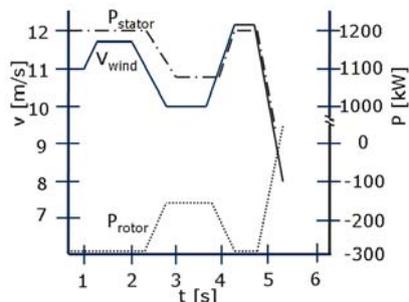


Bild 1: Prinzip Umrichter mit DGAG

Der Betriebspunkt Synchronismus bedeutet, dass die Rotordrehzahl gleich dem Netzdrehfeld ist und damit geht die Rotorspannung gegen Null. Dieser Punkt liegt üblicherweise in der Mitte des Auslegungsbereiches einer Windkraftanlage um den Wirkungsgrad zu optimieren. Durch die Regelung der Rotorströme nach Betrag und Phase werden die Wirk- und Blindleistungsanteile nach Bedarf zur Verfügung gestellt. Dies erfolgt üblicherweise durch eine feldorientierte Regelung. Hierfür wird das dreiphasige Rotorstromsystem in ein kartesisches Koordinatensystem transformiert. Anschließend erfolgt eine Transformation in den komplexen Zahlenbereich, welche unter Hinzunahme des T-Ersatzschaltbildes der Asynchronmaschine den Moment- und den Fluss bildenden Anteil des Stromes liefert.

Zusätzlich erfolgt bei modernen Windkraftanlagen eine Pitchregelung. Einem Anstieg der Windgeschwindigkeit wie in Bild 2 zwischen 1s und 2s über die nominale Windgeschwindigkeit der Anlage, wird dann mittels Rotorblattwinkelverstellung entgegengewirkt, um die Anlage vor Beschädigung zu schützen.



**Bild 2:** Typische Verläufe von Stator- und Rotorleistung in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit für eine 1.5 MW Anlage mit einer nominalen Windgeschwindigkeit von 11 m/s.

## 1.2 Umrichter

Bild 1 zeigt den Umrichter bestehend aus einem Netzwechselrichter (NSR) und einem Rotorwechselrichter (MSR), sowie einem Zwischenkreis. Da ein Energiefluss sowohl in Richtung Netz, als auch in Richtung des Rotors erforderlich sein kann, kommt eine ungesteuerte B6-Brücke nicht in Frage. Die beiden Wechselrichter sind vorzugsweise mit modernen IGBT Modulen in einer B6-Schaltung ausgeführt.

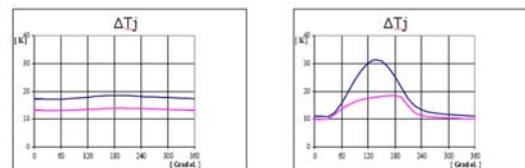


**Bild 3:** EconoDUAL™ 3 und PrimePACK™ IGBT Halbrückenmodule

## 1.3 Lastwechselanforderungen an Halbleiter / Umrichter

Die Belastungen und Anforderungen an den NSR und MSR sind aufgrund großer Schwankungen der Windgeschwindigkeit sehr unterschiedlich. Dadurch ergeben sich variierende Lastströme und dadurch bedingt variierende thermische Lastwechsel der Halbleiter in den beiden Wechselrichtern. Für den Betriebspunkt Synchronismus nähert sich die Ausgangsfrequenz des Stromes im MSR dem Wert Null. Dies bedeutet, dass ein Zweig des Wechsel-

richters den kompletten Strom führen muss und die beiden anderen Zweige jeweils den halben Strom übernehmen. Eine gleichmäßige Aufteilung der Verluste auf alle 6 IGBT im Wechselrichter findet nun nicht mehr statt. Dieser Zustand kann beliebig lange andauern und ist bei der Auslegung des Umrichters zu berücksichtigen. Die Grundschwingungsfrequenz des Stromes im NSR beträgt zwischen 50 Hz und 60 Hz, während sich die Grundschwingungsfrequenz im MSR im Bereich um 0-20 Hz befindet. Bild 4 zeigt den typischen Verlauf der resultierenden Sperrschichttemperaturen NSR und einem MSR bei gleichem Effektivwert des Stromes während einer Periode.



**NSR**  
Grundschwingung des Stromes 50Hz:  
Temperaturhub in der Sperrschicht des IGBT  
Temperaturhub in der Sperrschicht in der Diode

**MSR**  
Grundschwingung des Stromes 1Hz:  
Temperaturhub in der Sperrschicht des IGBT  
Temperaturhub in der Sperrschicht in der Diode

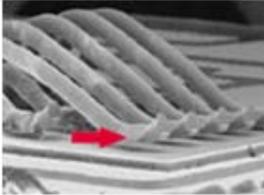
**Bild 4:** Verläufe der Sperrschichttemperaturen im NSR und MSR

Dies bedeutet einen kontinuierlich wiederkehrenden Temperaturhub an der Sperrschicht eines IGBT im NSR von ca. 2-3 K und eines IGBT im MSR von ca. 22 K. Seit dem Einsatz von IGBT Modulen in der Traktion ist bekannt, dass eine zyklische Belastungsfähigkeit von IGBT Modulen begrenzt ist. Hierbei wurden primär 2 Arten von Ausfallmechanismen der verwendeten IGBT Module beobachtet, welche im nächsten Abschnitt beschrieben werden. Üblicherweise wird die Sperrschichttemperatur im Frequenzumrichter über ein thermisches Modell berechnet. Hierbei ist für sinusförmige Ausgangstromfrequenzen deutlich größer 0 Hz die Näherung zulässig, dass der Verlauf der Chiptemperatur analog dem Temperaturverlauf bei einem puls förmigen Stromverlauf ist. Nähert sich die Ausgangstromfrequenz dem Wert Null gilt dies nicht mehr und die Sperrschichttemperatur folgt annähernd dem Verlauf des Stromes.

## 1.4 Ausfallmechanismus durch Power Cycling

Bedingt durch die beschriebenen Power Cycles im Sekundenbereich kommt es zu den gezeigten Temperaturhuben an der Sperrschicht und den Bonddrähten. Aufgrund von unter-

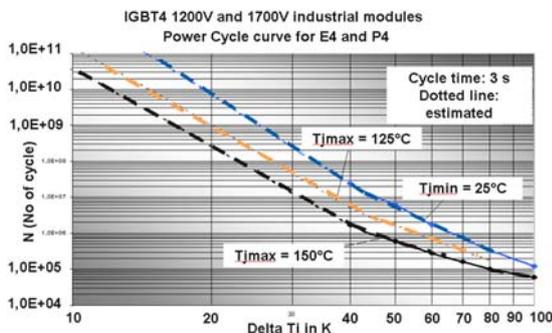
schiedlichen Ausdehnungskoeffizienten von Silizium und Aluminium kommt es zu Mikrobewegungen im Bonddraht. Dies kann zu kleinen Rissen in den Verbindungsstellen Chipoberfläche und Bonddraht, bis hin zum so genannten „Bond Wire Lift Off“ führen. Diesen Vorgang zeigt Bild 5.



**Bild 5:** Bond wire lift off

In Abhängigkeit des Temperaturhubes  $\Delta T_j$  in der Sperrschicht, der Einschaltdauer des Laststromes, der Dicke der Bonddrähte, der Höhe des Laststromes sowie der verwendeten Chipdicke lässt sich eine entsprechende Zahl von Power Cycles erreichen. Eine mathematische Annäherung der Lastwechselfestigkeit kann gemäß des erweiterten Coffin Manson Gesetzes erfolgen [1].

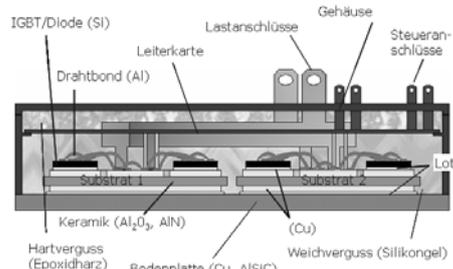
In Bild 6 sind für verschiedene Temperaturniveaus die von der Infineon AG zugesagte Lastwechselfestigkeit in Form der Power Cycle Kurve bei unterschiedlichen Temperaturhuben im Halbleiter  $\Delta T_j$  dargestellt. Diese Kurven gelten für die neuen Fieldstop-Trench IGBT<sup>4</sup> für 1200V und 1700V IGBT Module. Diese moderne Halbleitertechnologie erlaubt dem Anwender einen geschalteten Betrieb bis zu einer Sperrschichttemperatur von  $T_{vjop} = 150\text{ °C}$ . Der Anwender hat nun die Möglichkeit einen höheren Strom zu takten als mit herkömmlichen Halbleitern mit  $T_{vjop} = 125\text{ °C}$  oder bei gleich hohem Strom die Power Cycling - Festigkeit zu vervierfachen.



**Bild 6:** Power Cycling Kurven für Module mit IGBT<sup>4</sup>

Um die hohe Lastwechselfestigkeit für den Sekundenbereich, entsprechend der gezeigten

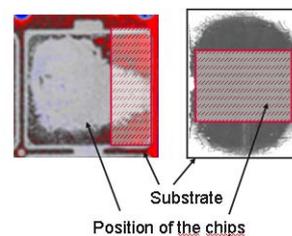
Anforderungen für die DGAG zu erfüllen, sind die Oberflächen der Halbleiter mit einer Metallisierung versehen. Dies ermöglicht eine umfassende Optimierung der Bondparameter, ohne dass es zu einer Beschädigung der Kristallstruktur kommt.



**Bild 7:** Aufbau IGBT Modul

### 1.5 Ausfallmechanismus durch Thermal Cycling

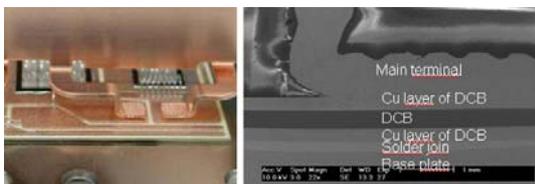
Durch Lastwechsel im Minutenbereich kommt es aufgrund des Schichtaufbaus diverser Materialien im Modul zur bislang zweiten hauptsächlichen Schädigung. Den typischen Aufbau eines IGBT Moduls zeigt Bild 7. Hervorgerufen durch diese Art von Lastwechseln kommt es zu einer Erwärmung quer durch das IGBT Modul mit einer Wärmespreizung an den Grenzschichten der unterschiedlichen Materialien. Bedingt durch unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten dehnen sich die verwendeten Materialien wie Kupfer, Keramik, Silizium und Aluminium unterschiedlich stark aus. Kontinuierliche Lastwechsel im Minutenbereich führen zu einer Lotermüdung zwischen dem kupferkaschierten Substrat und der Bodenplatte. Die Folge ist eine Delamination der Lotschicht und damit verbundenem Anstieg des thermischen Widerstandes  $R_{thjc}$  von der Sperrschicht zum Modulgehäuse/Bodenplatte. Es kommt zum Ausfall des Bauelements durch Überhitzung.



**Bild 8:**

Ultraschallaufnahme der Delamination des Lotes zwischen Keramik und Bodenplatte nach 5 k Zyklen mit einem Temperaturhub  $\Delta T_c$  von 80K für ein IGBT Modul (links) mit herkömmlicher und ein PrimePACK<sup>TM</sup> von Infineon (rechts) mit neuester Aufbautechnologie. In Bild 8 links stellt der graue Rahmen die Montageposition des

Chips dar. Es ist ersichtlich, dass die Rückbildung des Substratlotes zu einer Erhöhung des thermischen Widerstandes direkt unter dem Chip geführt hat. Dementsprechend werden die Halbleiter in den PrimePACK™ IGBT Modulen so platziert, dass eine Delamination des Substratlotes, helle Umrandung in Bild 8 rechts, den thermischen Widerstand direkt unter dem Chip für eine große Anzahl von Lastwechseln nicht beeinträchtigt. Auffallend bei älteren Modulgenerationen war vereinzelt auch eine Delamination der gelöteten Hilfs- und Lastanschlüsse. Bei modernen IGBT Modulen für Windkraftanlagen werden die Anschlüsse mittels einer Ultraschallschweißung mit der kupferkaschierten Keramik verbunden.



**Bild 9:** Links, Laststromabnahmen Ultraschall geschweißt; Rechts, Schnitt durch die Verbindungsstelle Laststromabnahme und Keramik

Wie im Bild 9 zu sehen ist, existiert keine Grenzschicht zwischen der aufgeschweißten Laststromabnahme und der Kupferkaschierung auf der DCB.

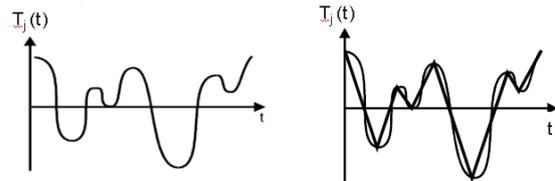
Die aufgezeigten Verbesserungen für die Bondverbindung, Substratlot und die Verbindungstechnik der Anschlüsse haben eine deutliche Erhöhung der Zuverlässigkeit für den Einsatz in Windkraftanlagen gezeigt.

Um jedoch eine Abschätzung über die Lebensdauer der Module in der Windkraftanlage geben zu können, ist die Korrelation über den zeitlichen Zusammenhang des auftretenden Windes und der sich darauf ergebenden Änderung des Laststromes inklusive seiner Frequenz zu finden. Hierfür stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. An dieser Stelle wird das Rainflow Verfahren kurz vorgestellt.

Hierfür ist für unterschiedliche Arbeitspunkte die Temperatur an der Modulbodenplatte zu messen und daraus basierend unter Berücksichtigung der Stack- und Modulparameter die Sperrschichttemperatur bei bekannter eingepprägter Verlustleistung zu berechnen. In Formel 1 ergibt sich der Augenblickswert der Sperrschichttemperatur  $T_j(t)$  durch die Multiplikation des Augenblickswertes der eingepprägten Leistung  $p(t)$  mit dem thermischen Widerstand, von der Sperrschicht zum Modulgehäuse und der Addition des Augenblickswertes der Gehäusetemperatur  $T_j(t) = p(t) \cdot R_{thjc} + T_c(t)$  (1)

Mit einem Mikroprozessor C166® von Infineon werden die sich zeitlich ändernden Temperaturen berechnet und abgespeichert.

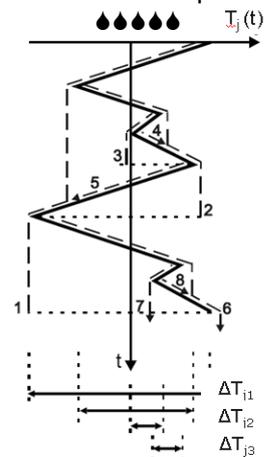
Um eine Aussage über den Betrag des Temperaturhubes nach einem Lastwechsel zu bekommen, ist es sinnvoll die gespeicherten Temperaturwerte auf ihre Abweichung zueinander zu untersuchen. Die Genauigkeit der Kurvennachbildung hängt von der Abtastfrequenz ab. Die Temperaturhübe werden mit ihrer Auftrenshäufigkeit multipliziert und mittels der Power Cycle Kurve wird ihr Anteil an der Lebensdauer ermittelt.



**Bild 10:** Links, Temperaturverlauf am Chip; Rechts, Verbindung der lokalen Maxima und Minima des Chiptemperaturverlaufs

Eine Auswertung der Hübe und die Bestimmung der entsprechenden Zyklen, können mit dem Rainflow-Verfahren durchgeführt werden. Hierfür wird der Temperatur-Zeit Verlauf aus Bild 10 rechts, um 90° gedreht. Stellt man sich nun Regentropfen vor, welche an der Linie entlang laufen würden, so würde der Tropfen 1 von einem Maximum auf ein größeres Maximum fallen. Die Zusammenfassung zeigt Bild 11.

- ◆ 1 passiert ein gleichgroßes Maximum
- ◆ 2 passiert ein größeres Minimum
- ◆ 3 passiert ein größeres Maximum
- ◆ 4 erreicht den Lauf des Tropfens 2
- ◆ 5 erreicht den Lauf des Tropfens 1
- ◆ 6 „fällt raus“
- ◆ 7 „fällt raus“
- ◆ 8 erreicht den Lauf des Tropfens 6.



**Bild 11:** Rainflow Zählmethode zur Bestimmung der Temperaturhübe

Die Beträge der Temperaturhübe  $\Delta T_{jn}$  werden somit ermittelt und die Lebensdauer, wie beschrieben, bestimmt.

## 1.6 Anforderungen an Luft- und Kriechstrecken

Bei Aufstellung von Windkraftanlagen in Küstennähe, insbesondere Offshore Anlagen und in Regionen mit sehr hoher Luftfeuchtigkeit oder erhöhtem Salzgehalt in der Luft, kommt es immer wieder zu Überschlügen im Bereich der Leistungshalbleiter und Zwischenkreisanbindung. Luft- und Kriechstrecken wie sie für Frequenzumrichter in Industrieanwendungen zum Einsatz kommen, reichen je nach Schutzart des Schaltschranks dort nicht mehr aus. Eine Erhöhung der Schutzart nach DIN EN 60529 bringt eine deutliche Systemkostenerhöhung mit sich. IGBT-Module aus der PrimePACK™ Familie mit einem CTI Wert  $> 400$  (comparative tracking index), sowie Luft- und Kriechstrecken des Gehäuses vorgesehen für eine Sperrspannung von 3,3kV setzen hier neue Maßstäbe und stellen langfristig eine sichere Lösung für den fehlerfreien Betrieb im Umrichter der Wind-Energie-Anlage dar. Die PrimePACK™ sind im Bild 3 rechts ersichtlich.

## 2 IGBT Leistungsteil / Stack

Ein Stack ist das Herzstück eines Stromrichters.

Es ist teilweise optional ausgerüstet mit:

- IGBT- und/oder bipolaren Leistungshalbleitern
- Kühlkörpern (luft- oder wassergekühlt)
- Zünd- oder Treiberbaugruppen
- Schutzbeschaltungen
- Sensorik für Strom, Spannung und Temperatur
- Zwischenkreis
- Mechanik, Chassis und ggf. Abdeckhauben

### 2.1 Modulklassifikation vs. Stackklassifikation

Die Modulklassifikation erfolgt nach festen einheitlichen Regeln. Die Regeln sind im Datenblatt zum Modul angegeben. Sie beziehen sich immer auf korrespondierende Parameter im Modul, z.B. gibt es zu einer Gehäusetemperatur  $T_c$  einen DC-Kollektorstrom  $I_c$  zu dem eine Kollektor-Emitter Sättigungsspannung  $V_{cesat}$

gehört. Die Kühlung des Moduls ist kein Bestandteil der Klassifikation. Man geht von der mehr oder weniger idealen Referenzkühlung, einer nahezu bestmöglichen Wasserkühlung aus.

Die angegebenen Datenblattwerte werden unter Berücksichtigung ihrer Toleranz für unterschiedliche Temperaturen angegeben.

Die Art der Applikation und die individuelle Modulkühlung gehen nicht in die Klassifikation ein, können aber auf Basis des Datenblattes und den applikationsspezifischen Kenngrößen berechnet werden.

Die Stackklassifikation erfolgt anhand der mit dem Kühlsystem ableitbaren Verlustleistung (Wärmeleitung, Wärmestrahlung, Konvektion). Die Applikationsparameter in der Wind-Energie-Anlage können mit einem gegebenen Stack variiert werden, wie es das Kühlsystem aufgrund der max. zulässigen Sperrschichttemperaturen der Halbleiter erlaubt. Die Beurteilung über den nominalen Kollektorstrom des IGBT Moduls allein ist nicht ausreichend.

Die Angabe erfolgt üblicherweise in der Form, dass ein effektiver Ausgangstrom bei einer definierten Taktfrequenz und Zwischenkreisspannung unter Berücksichtigung der Umgebungstemperatur und maximal ableitbarer Verlustleistung angegeben wird.

Abhängig von der Umrichter-Topologie in der WEA sind bei der Auslegung eines Stacks folgende Anforderungen zu beachten.

- Sperrschichttemperatur
- Power Cycling Capability
- Thermal Cycling Capability
- Verluste und Kühlsystem
- Zwischenkreisspannung
- Kurzzeitüberlast
- Stoßstromfestigkeit z.B.  $2 \cdot I_{Modul\_nenn}$  für 20ms
- theoretische und im Feld gemessene Fit rate
- Qualitätskosten, Einbau von Reserven vs. Ausfallrate

### 2.2 Der Weg zu höheren Leistungen

Um eine Leistungsskalierung zu realisieren können zwei Wege verfolgt werden. Beide bieten entsprechende Vor- und Nachteile:

Zum einen bietet sich der harte Parallelbetrieb von Modulen oder die Parallelschaltung von Stacks an.

Die Parallelschaltung von Modulen ist kostengünstig, erfordert aber eine einwandfreie Symmetrie in der Modulanordnung, in der Ansteuerung und der Anbindung an den Zwischenkreis. Ein Derating ist mit steigender Anzahl parallel geschalteter Module erforderlich da ein absolut gleichzeitiges Schalten der Halbleiter nicht möglich ist. Bei kleinsten Abweichungen der Schaltzeitpunkte bilden sich Spannungszeitflächen über dem Halbleiter welche in Verbindung mit dem niederohmschen Zwischenkreis größere Ströme und somit Verluste erzeugen. Die Anordnung ist in der Regel auch nicht mehr trennbar und im Hinblick auf Serviceeinsätze mit einem größeren Aufwand verbunden.

Die Parallelschaltung von ganzen Stacks erfordert ein zugeschnittenes Parallelschaltinterface und ist nicht ganz so empfindlich in Bezug auf die Symmetrie der Anordnung. Die höchste Leistung erhält man aber auch nur bei perfekter Symmetrie des Aufbaus.

Bei entsprechenden Maßnahmen in der Schaltanlage lassen sich auch redundante Systeme aufbauen.

### **2.3 Treiberfunktionalität, Anforderungen an die Treiber für Stacks**

Der Treiberkern beinhaltet ein oder zwei Kanäle zur potentialfreien Ansteuerung eines IGBT. Er enthält die Potentialtrennung, die bei Systemen mit 1200V IGBT auch mittels Coreless Transformer, bei 1700V IGBT mit Transformatoren und bei IGBT mit noch höheren Spannungen in der Regel mit Lichtwellenleitern erfolgt um eine höhere Störfestigkeit zu realisieren. Je nach Anlagenkonzept ist die Sichere Trennung nach EN50178 bereits im Treiberkern notwendig. Die Sichere Trennung bezieht sich sowohl auf den Signalkanal als auch auf die Spannungsversorgung des Treibers.

Gelegentlich ist die Steuerelektronik mit Blick auf die Störfestigkeit und die galvanische Trennung ausschließlich mit LWL Ausgängen versehen. In Verbindung mit den heute üblichen Treibern für 1200V und 1700V IGBT Module ist die optische Ansteuerung nicht zwingend erforderlich. Die galvanische Trennung erfolgt bereits elektromagnetisch im Treiberkern. Zudem unterliegen die optischen Übertragungsbaulemente der Alterung. In der Regel ist nach 10 Jahren Betrieb ein Austausch erforderlich.

Mit einem tragfähigen EMV Konzept ist eine alterungsunabhängige elektrische Ansteuerung möglich.

Um die Sichere Trennung einzuhalten ist die Treiberbaugruppe nicht direkt auf den IGBT Modulen angeordnet, sondern befindet sich geschützt durch eine Montageplatte außerhalb des Einflussbereiches eventuell beschädigter Module. Die Module sind mit Moduladaptern ausgerüstet welche lediglich die zwingend in IGBT Nähe erforderlichen Bauteile wie Gate Widerstände und Active Clamping enthalten.

Ein Stack erfordert aber noch weitere Funktionen welche die Performance der WEA deutlich verbessern. Diese werden üblicherweise auf der Treiberbaugruppe realisiert. Die Treiberbaugruppe DR110 für die Produktreihe ModSTACK™ leitet die von einer Steuerelektronik generierten Pulsmuster an die IGBT weiter. Die über Strom- und Spannungswandler gemessenen elektrischen Größen wie Strangstrom und Zwischenkreisspannung werden für die Steuerelektronik aufbereitet und Fehlermeldungen wie Überstrom und Überspannung abgeleitet. Basierend auf einer Temperaturerfassung an der Bodenplatte des IGBT Moduls wird die Temperatur der Sperrschicht berechnet und ggf. eine Fehlermeldung erzeugt. Durch eine Überwachung der Sättigungsspannung wird ein eventueller Brückenkurzschluß erfasst. Die Baugruppe kann wahlweise für positive und negative Eingangslogik ausgestattet werden. Zum Zurücksetzen der Baugruppe im Fehlerfall ist wahlweise ein automatischer Reset oder ein Reset durch die Steuerelektronik möglich. Für den Fall eines Schadens im Leistungskreis sind weitere passive Sicherheitsfunktionen in der Treiberbaugruppe erforderlich. Bei einem defekten IGBT im Leistungskreis wird der Ausgang des Treiberkerns, eventuell durch einen Kurzschluss zwischen Gate und Emitter des IGBT, ebenfalls kurzgeschlossen. Dies führt in Folge zu einem Ausfall des Treiberkerns und damit zu einem Kurzschluss der möglicherweise zentralen Treiberversorgung. Ohne die Treiberversorgungsspannungen steht auch die negative Spannung für die intakten IGBT Module nicht mehr zur Verfügung und somit entfällt die Möglichkeit diese sicher gegen Wiedereinschalten zu sperren. Infolgedessen sind weitere Schäden im Stack nicht auszuschließen. Eine Kettenreaktion setzt möglicherweise ein. Um dies zu vermeiden sind die einzelnen Treiber in der DR110 gegen Rückwirkung auf die Treiberversorgung abgesichert.

## 2.4 Stack-Lösungen von Infineon

Stacks können kundenspezifisch definiert oder aus einem vorhandenen Portfolio bezogen werden.

Infineon bietet ein modulares Stromrichtersystem mit einem Minimum an Bauteilen an, welches kundenspezifisch ausgelegt wird. Zur Anpassung an die jeweilige WEA-Topologie sind umfangreiche Erweiterungen verfügbar.



**Bild 13:** ModSTACK™ **Bild 14:** PrimeSTACK

Ein ModSTACK™ ist einmodulares Stromrichtersystem basierend auf vier Chassisgrößen mit Kühlkörpern, IGBT Modulen, Snubberkondensatoren, Zwischenkreisanbindung, Treibern, Strom- Spannungs- und Temperatursensoren und robuster Hilfsspannungsversorgung. Zur Anpassung an die jeweilige WEA-Topologie sind umfangreiche Erweiterungen verfügbar.

Als PrimeSTACK bezeichnet man Leistungsmodule mit einem standard- oder kundenspezifischen Kühlkörper. Basis bilden 62mm IGBT Module, Treiber, Stromsensoren, Temperatursensoren und die Hilfsspannungsversorgung. Verschiedene Erweiterungsmöglichkeiten wie Spannungssensor und Zwischenkreiskondensatoren [2] [3].

Für eine schnelle und kostenorientierte Auslegung der Leistungsteile für verschiedenste WEA Konzepte steht das Infineon Tool STACKOptimizer zur Verfügung. Mit diesem lassen sich auf Basis der relevanten Applikationsparameter schnell und zuverlässig erste Ausführungen für den optimalen Stack in der WEA ermitteln.

## 3.0 Zusammenfassung

Mit den heute verfügbaren Stack- und IGBT Technologien von Infineon sind die Anforderungen moderner Wind- Energie-Anlagen zuverlässig und kostenoptimiert umsetzbar. Für die Branche zugeschnittene Produkte werden durch kontinuierliche Weiterentwicklungen das Wachstum dieser innovativen Technologie auch zukünftig solide unterstützen.

## References

- [1] Dr. Bayerer R., Herrmann T., Dr. Licht T., Infineon Technologies AG Warstein, Prof. Dr. Lutz, Feller M. Universität Chemnitz, „Model for power cycling lifetime if IGBT modules-various factors influencing lifetime“
- [2] O. Schilling, M. Wölz, G. Borghoff, J. Schiele, O. Hölbe, P. Luniewski Infineon Technologies AG, Warstein “Optimised Integration of PrimePACK™ into Modular IGBT Stacks with Increased Power Density”
- [3] Reliable and Easy, Power semiconductors for multi-MW windturbines, EPE2008, U. Littmann, M. Steven, J.Schiele Infineon Technologies AG, Warstein