

Vorstellung unseres neuen Forschungsprojektes „Dragan“

Im Dezember 2020 ist an der HAW Landshut das Forschungsprojekt
„Dragan“ – Dreipunktmodul mit Multilayer-AMB für GaN gestartet.

In „Dragan“ wird im Labor für Leistungselektronik der Fakultät Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen an DCDC-Wandlern für Brennstoffzellenfahrzeuge gearbeitet, die mit neuartigen Galliumnitrid-halbleitern (GaN) bestückt sind. Finanziert wird das Projekt vom Bayerischen Verbundforschungsprogramm Mobilität Innovative Antriebe, Projektpartner ist die Firma Silver Atena mit ihrer Niederlassung in Landshut. Hochschulintern gibt es eine enge Zusammenarbeit mit dem Hybridlabor (Prof. Ivanov), in dem die Leistungsmodule gefertigt werden. In der Startphase arbeiten 2 Doktoranden an dem Projekt.

Zunächst einmal: wofür benötigt man Leistungselektronik überhaupt? Unter „Leistungselektronik“ versteht man Systemkomponenten wie Gleichrichter, Wechselrichter oder DCDC-Wandler. Diese werden überall dort eingesetzt, wo elektrische Energie umgewandelt werden muss. Zum Beispiel: Ein Solarwechselrichter wandelt den Gleichstrom, den eine Solarzelle erzeugt, in Dreiphasenwechselstrom um. So kann man Energie ins Drehstromnetz einspeisen. Gleiches gilt für Brennstoffzellen oder Energiespeicher wie z.B. Batterien. Und in Windkraftanlagen benötigt man Gleich- und Wechselrichter, um die Drehzahl des Generators optimal an die Windgeschwindigkeit anpassen zu können.

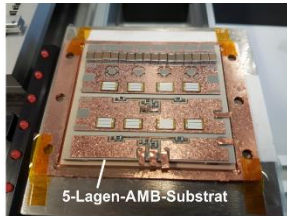
Auch moderne Mobilität kommt nicht ohne Leistungselektronik aus. Egal ob Elektroauto, Elektrobuss, Autonomes Fahrzeug, Elektrolokomotive, S-Bahn oder ICE: letztlich ist es ein Drehstrommotor mit Leistungselektronik, der das Fahrzeug antreibt. Im Elektrofahrzeug muss die Gleichspannung der Batterie mit Hilfe eines Wechselrichters so umgeformt werden, dass man den Drehstrommotor überhaupt erst betreiben kann. Auch wenn die Batterie aus dem Drehstromnetz aufgeladen werden soll, geht das nur wieder Hilfe von Leistungselektronik. Und wenn wir von Industrie 4.0 reden: in Fertigungsanlagen bzw. in Robotern ist letztlich eine Vielzahl Drehstromservomotoren im Einsatz, die alle mit entsprechender Leistungselektronik angesteuert werden müssen. Fazit:

Leistungselektronik ist eine der Schlüsseltechnologien für Energiewende, Mobilität und Industrie! Meist werden solche Technologien in der öffentlichen Debatte aber komplett übersehen: zu kompliziert zu erklären, keine Lobby, nur etwas für Fachleute. Dabei war Deutschland lange Zeit einer der führenden Standorte im Bereich Leistungselektronik, und es gibt bei uns auch heute noch eine breite industrielle Basis, die übrigens mehr denn je entsprechende Fachleute sucht.

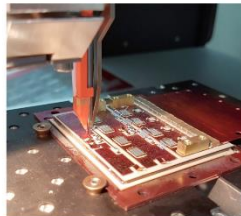
In der Leistungselektronik erfahren wir zudem gerade einen Umbruch: Hat man bislang siliziumbasierte Leistungshalbleiter verwendet, so sind nun sogenannte „Wide Bandgaphalbleiter“ auf den Vormarsch. Als Substrat für Leistungstransistoren dient nicht mehr Silizium, sondern Siliziumkarbid (SiC) bzw. Galliumnitrid (GaN). Neben den klassischen Halbleiterherstellern sind in letzter Zeit eine ganze Reihe hochinnovativer Firmen entstanden, welche die Entwicklung dieser Transistoren mit großem Engagement voran treiben. Viele davon übrigens in den USA, wo verstärkt auf diesem Gebiet geforscht wird.

Mit Hilfe dieser neuen Leistungshalbleiter kann man Leistungselektronik deutlich kompakter und effizienter gestalten. Spitzenwirkungsgrade bis über 99 % sind möglich. Aber das ganze hat einen Pferdefuß: um die guten Eigenschaften dieser neuen „Wide Bandgaphalbleiter“ richtig ausnutzen zu können, muss man die sogenannte „Aufbau- und Verbindungstechnik“ gegenüber dem Stand der Technik weiter entwickeln. Die Ansprüche sind deutlich höher als bei Siliziumtechnologie, auch sind Störungen durch die nun sehr schnell schaltenden Halbleiter ein weitaus größeres Problem. Stichwort EMV – Elektromagnetische Verträglichkeit.

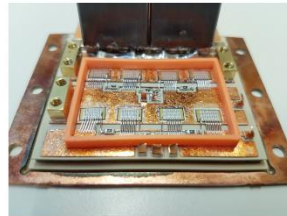
Wer es genau wissen will: Ströme von mehreren hundert Ampere können nun an Spannungen von z.B. 800 V innerhalb von 20 ns ein- und ausgeschaltet werden. 20 ns = 1/50.000.000 Sekunde! Das reduziert sogenannte „Schaltverluste“, stellt aber hohe Anforderungen an den gesamten Aufbau. Um mal eine Vorstellung davon zu vermitteln, was man unter „Aufbau- und Verbindungstechnik“ eigentlich versteht:



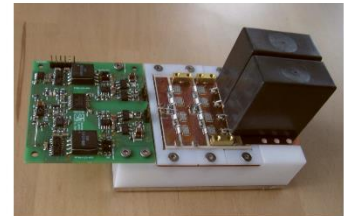
Bestücken eines Moduls mit Bauelementen



Bonden: Kontaktieren der Halbleiter-Oberseite



Fertiggestelltes Modul mit Verguss



Modul mit Ansteuerplatine und Wasserkühlung

Bilder: T. Huber (Fertigung im Hybridlabor) / A. Kleimaier (Leistungselektroniklabor)

Diese Bilder stammen aus einem bereits abgeschlossenen Projekt, in dem der Einsatz von SiC-Halbleitern untersucht wurde. Sie zeigen den Aufbau eines Labormusters. Der Schaltungsträger ist ein sogenanntes „5-Lagen-AMB-Substrat“, das im Rahmen des Projektes entwickelt wurde. Die SiC-Halbleiterchips („Dies“) sind die acht bereits auf dem Substrat platzierten hellgrauen Plättchen auf dem ersten Bild ganz links.

Brennstoffzellenfahrzeuge sind Elektrofahrzeuge, die nur eine kleine Batterie besitzen und die elektrische Energie zum Fahren aus der Oxidation von Wasserstoff erzeugen. Da die Spannung der Brennstoffzelle belastungsabhängig stark schwanken kann, benötigt man einen DCDC-Wandler, um die Zellspannung auf das Niveau der Bordnetzspannung anzuheben, beispielsweise von 270 V auf 800 V.

Genau das ist Ziel des Projektes Dragan: die Realisierung eines solchen DCDC-Wandlers, der mit neuartigen GaN-Halbleitern bestückt und damit besonders leicht und kompakt gebaut werden kann. Bauraumbedarf und Gewicht sind im Fahrzeug immer problematisch und müssen daher optimiert werden, und zusätzlich erhoffen wir uns Vorteile bezüglich Kosten und Wirkungsgrad. Gerade bei entsprechenden GaN-Halbleitern, die gerade erst auf den Markt kommen, wird erwartet, dass hier noch deutliche Verbesserungen möglich sind. Um diese GaN-Halbleiter überhaupt erst einsetzen zu können, sind spezielle Schaltungstopologien erforderlich; gleichzeitig ergeben sich hohe Anforderungen an die Aufbautechnik.

Wer es genau wissen will: es werden selbstsperrende 650 V GaN-FETs (Feldeffekttransistoren) eingesetzt. Um diese an 800 V betreiben zu können, ist eine Multilevelschaltung erforderlich, zum Beispiel die 3-Level Flying Capacitor Topologie. Zur Beherrschung der sehr schnellen Schaltvorgänge benötigen wir ultraniederinduktive Kommutierungskreise innerhalb der Schaltung. Mit dem oben abgebildeten 5-Lagen-AMB sind bis zu 1,2 nH (Nanohenry) bei Strömen von 200 A realisierbar, was durch eine zusätzliche, innere Massefläche realisiert wird. Diese dient gleichzeitig zur Wärmespreizung (verbessert die Entwärmung der Halbleiter) und als Schirm zur Reduktion von Gleichtaktstörungen.

Welche Fahrzeugvariante – rein batterieelektrisch oder mit Brennstoffzelle – sich durchsetzen wird oder ob beide Varianten nebeneinander existieren werden, ist noch nicht absehbar. Es gibt wie so oft keine Ideallösung; letztlich müssen Vor- und Nachteile gegeneinander abgewogen werden. Wasserstoff als Energieträger ermöglicht die Speicherung großer Mengen von Energie, ggf. saisonal, d.h. über Jahreszeiten hinweg. Zusätzlich ist die schnelle Betankung von Fahrzeugen möglich, bei aktuell größerer Reichweite gegenüber Batteriefahrzeugen. Jedoch hat Wasserstoff als Energieträger den signifikanten Nachteil hoher Umwandlungsverluste. Um sich das vor Augen zu führen: Zunächst wird elektrische Energie in einer Wind- oder Solaranlage erzeugt. Diese wird dann zur Elektrolyse von Wasser verwendet. Der erzeugte Wasserstoff muss gespeichert, verteilt und für den Fahrzeugeinsatz unter Energieaufwand komprimiert bzw. verflüssigt werden, um dann wiederum mit Hilfe einer Brennstoffzelle (Wirkungsgrade 40 bis 70 %) in elektrische Energie zurückgewandelt zu werden. Man bekommt nichts geschenkt...