

Zuverlässigkeitsgestaltung von Steuergerätekomponenten

Wirkzusammenhänge verstehen

In der Entwicklung von Steuergeräten für Automobilanwendungen werden zur zuverlässigen Auslegung der elektronischen Komponenten in allen Entwicklungsphasen rechnergestützte Modellbildung und Optimierungstools eingesetzt. Am Beispiel der Leistungsmodule für Hybrid- und Elektrofahrzeuge ((H)EV) wird gezeigt, wie rechnergestützte Zuverlässigkeitsgestaltung durch die Kombination von FE-Rechnung, Lebensdauerbewertung und Optimierung effektiv durchgeführt werden kann.

Diese Methode lässt sich zur Optimierung für verschiedenste Bauteile und Anwendungsgebiete nutzen. Voraussetzung ist, wie sich zeigen wird, dass kritische Belastungen und ein Modell für die feldrelevante Schädigung des Bauteils in Form eines Lebensdauermodells sowie ein parametrisiertes Geometriemodell vorliegen. Leistungsmodule sind Träger einer B6-Brückenschaltung im Inverter zwischen Hochvoltbatterie und Elektromotor bei (H)EVs. In Invertern der Robert Bosch GmbH sind die Leistungsmodule als gemoldete DBC-Substrate (Direct Bonded Copper) ausgeführt. Die darauf gelöteten Halbleiter werden über Aluminiumbonds kontaktiert. Dominante Fehlerbilder dieser Konstruktion sind Bondabheber und -risse. Sie entstehen durch unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten des DBC-Materials und der Aluminiumbonds.

Im V-Modell in Bild 1 wird anschaulich dargestellt, dass bei einem zuverlässigen Produkt auf allen Ebenen des Vs – vom System (im Beispiel das Fahrzeug) über das Subsystem (Steuergerät) bis zur Komponente (Leistungsmodul) und dem kritischen Designelement (Bond) – während der Lebensdauer die Belastung kleiner als die Belastbarkeit sein muss. Hier wird der linke Ast des V-Modells, d.h. die modellbasierte und simulationsgestützte Belas-

tungsübertragung vom System auf das Designelement, betrachtet. Auf Ebene des Designelements wird durch den Abgleich mit der Belastbarkeit eine Zuverlässigkeitsbewertung durchgeführt. Wann immer dies in kurzer Rechenzeit gelingt, kann eine Kombination der Bewertung mit Optimierungstools erfolgen und eine Optimierung der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) der betrachteten Komponente durch Belastungsreduktion ist möglich.

Temperaturhubbelastung

Mit einer Toolkette aus thermischen FE-Rechnungen, Faltungsintegral und Rainflowzählung [1,2] kann die Temperaturhubbelastung aktiv belasteter Bauteile gemäß realer Fahrprofile für das Beispiel der Leistungsmodule effektiv berechnet werden (Bild 1, links). Dabei wird die Feldbelastung in Form von Fahrzyklen auf den geforderten Phasenstrom des Inverters als Funktion der Zeit übertragen und in Verlustleistungen am Halbleiter umgerechnet. Mit der Simulationssoftware ANSYS Workbench werden Zth-Kurven der einzelnen Halbleiter in den Modulen und ihre Kopplungen berechnet (Bild 2). Eine Zth-Kurve ist die Sprungantwort der Temperatur des betrachteten Halbleiters bei konstantem Verlustleistungseintrag. In der FE-Rechnung wird der vollständige geo-

metrische Aufbau der Leistungsmodule inklusive Anbindung an den Flüssigkeitskühler berücksichtigt. Der Übergang vom Kühlkörper zur Kühlflüssigkeit wird durch Vorgabe eines Konvektionskoeffizienten auf den Kühloberflächen modelliert. Dieser wird modellbasiert bestimmt [3] und mit Messungen an einem speziell dafür entwickelten Prüfstand abgeglichen.

Die Berechnung des transienten Temperaturverhaltens der Halbleiter für ein gegebenes Verlustleistungsprofil erfolgt durch ein Faltungsintegral von Verlustleistungsprofil und den Zth-Kurven [4,5]. Die Anzahl der Temperaturhübe über die Lebensdauer und ihre Mittentemperatur charakterisieren die Schädigung der Bonds. Dazu wird für die berechneten Temperaturprofile eine Rainflowzählung durchgeführt [6]. Zur Bestimmung der Mittentemperatur jedes Hubs werden die Temperaturprofile mit dem entsprechenden Kühlwasserprofil kombiniert. Damit ergibt sich für gegebene Fahrzyklen die zugehörige Belastung der Leistungsmodule. Über ein Lebensdauermodell [7], das durch End-of-Life-Versuche mit verschiedenen Temperaturhüben und Mittentemperaturen ermittelt wird, können schließlich Belastung und Belastbarkeit korreliert werden.

Die vorgestellte Methode ermöglicht eine schnelle rechnergestützte Lebensdauerbewertung von Leistungsmodulen [8].

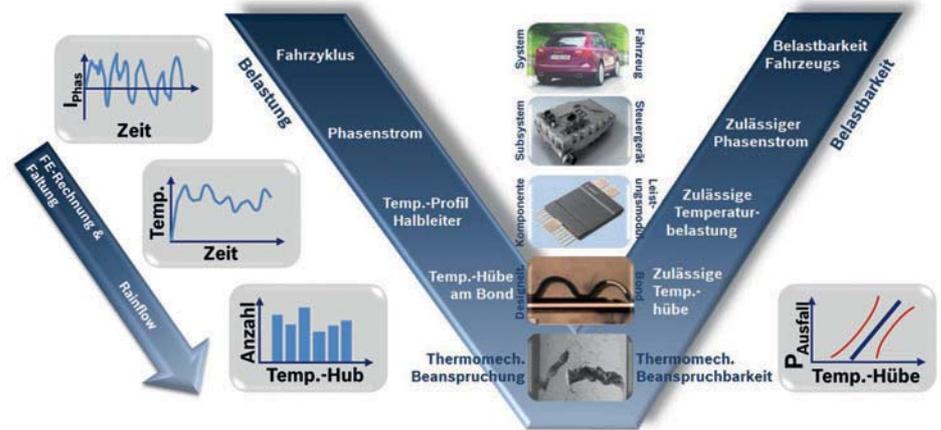


Bild 1: V-Modell zur Zuverlässigkeitsgestaltung.

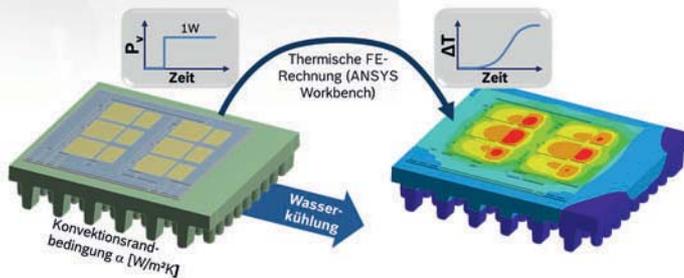


Bild 2: Komplette Leistungsmodulgeometrie inklusive Kühleranbindung zur Berechnung der Zth-Kurven.

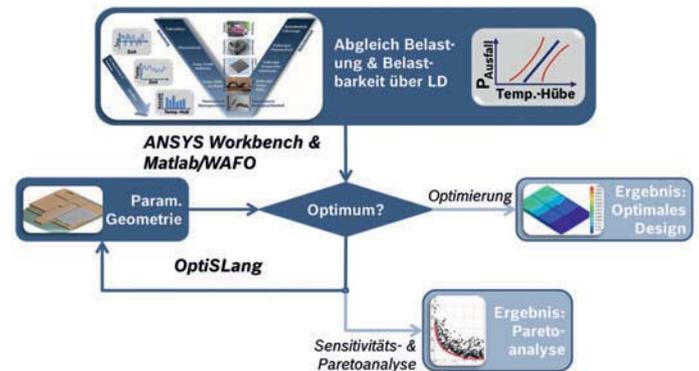


Bild 3: Schematische Darstellung des Ablaufes bei Kombination von Zuverlässigkeitsbewertung und Optimierung.

Zur Weiterentwicklung von Leistungsmodulen wird diese Lebensdauerbewertung zur Geometrieoptimierung unter Zuverlässigkeitsgesichtspunkten an die Optimierungsssoftware optiSLang gekoppelt (Bild 3). Für die Bewertung und Optimierung eines gegebenen AVT-Konzepts wird ein parametrisiertes CAD-Modell mit allen variablen Inputparametern (z.B. Materialeigenschaften, Schichtdicken, Modulgröße, Chipgröße, ...) erstellt.

Zuverlässigkeitsbewertung

Bei einem gegebenen Belastungsfall, z.B. ein auslegungsrelevanter Fahrzyklus, wird für verschiedene Kombinationen von Inputparametern mit der oben beschriebenen Methode die lokale Belastung am Bond berechnet. Über einen Abgleich mit der Belastbarkeit lässt sich eine Zuverlässigkeitsbewertung für den jeweiligen Satz von Inputparametern durchführen.

Dieses Vorgehen ermöglicht, mit OptiSLang die optimale konstruktive Umsetzung für die gewählte Belastung identifizieren zu können. Des Weiteren lässt sich eine Sensitivitätsanalyse durchführen, um

die Haupteinflussparameter herauszuarbeiten und z.B. eine Robust Design Optimierung zu realisieren. In einer Paretoanalyse können Wirkzusammenhänge zwischen Inputparametern und Zielgrößen dargestellt werden. Die ausgeleiteten Paretofronten sind in Folgeprojekten als Richtlinien für die Auslegung der AVT verwendbar. Dies führt zu besseren Auslegungsvarianten und kürzeren Entwicklungszeiten bei hoher Entwicklungsqualität.

In diesem Artikel wurde eine Methode zur rechnergestützten Geometrieoptimierung unter Zuverlässigkeitsgesichtspunkten am Beispiel von Leistungsmodulen für die Inverter von (H)EV-Steuergeräten vorgestellt. Dadurch wird eine konsistente Bewertung von Geometrievarianten in frühen Projektphasen ermöglicht. Diese Methode trägt signifikant zu kürzeren Entwicklungszeiten, weniger Musterrunden und damit weniger Hardwareinsatz und letztlich geringeren Entwicklungskosten bei. Durch die Kopplung von thermischen FE-Simulationen an eine Lebensdauerbewertung, lassen sich zum einen Zuverlässigkeitsmängel der betrachteten Komponente und zum an-

deren ein Overdesign durch das Verständnis der Wirkzusammenhänge in der entsprechenden Komponente vermeiden. Damit werden Herstellkosten reduziert, und gleichzeitig die Qualität des Produkts gesteigert: Die Entwicklungsziele „schneller, besser, preiswerter“ sind damit umsetzbar.

InfoAutor

Dr. Carmen Faust-Ellsäßer,
Robert Bosch GmbH,
Reutlingen



BOSCH
Technik fürs Leben

InfoVerwendeteSoftware

ANSYS Workbench, optiSLang

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Jens Otto, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0)8092-7005-17
jotto@cadfem.de

InfoTag

Verstehen Sie Ihr Design!
www.cadfem.de/verstehen-sie

InfoLiteratur

www.cadfem.de/cadfem-journal