

Nils Jahn

# Thermal Onboard Detection of Power Semiconductor Interconnection Faults

Berichte aus der Elektrotechnik

**Nils Jahn**

**Thermal Onboard Detection of Power  
Semiconductor Interconnection Faults**

D 290 (Diss. Technische Universität Dortmund)

Shaker Verlag  
Düren 2024

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Dortmund, Technische Univ., Diss., 2024

Copyright Shaker Verlag 2024

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-9619-4

ISSN 0945-0718

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Phone: 0049/2421/99011-0 • Telefax: 0049/2421/99011-9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • e-mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

TU Dortmund University  
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology  
Chair of Energy Conversion

## **Thermal Onboard Detection of Power Semiconductor Interconnection Faults**

### **Abstract**

Condition monitoring of power electronics increases the safety and reliability of autonomous driving and electrical vehicles. Therefore, this thesis presents a concept for the detection of assembly and interconnection faults in power semiconductors during operation. For this, a test vehicle is designed that includes a MOSFET and four adjacent temperature sensors placed on the top copper layer of a printed circuit board.

Multiple instances of the test devices are manipulated with different fault patterns in the solder layer between the semiconductor package and PCB or bond wire faults. A model is designed in a 3D FVM simulation environment to examine the effect of all failure cases on the junction temperature of the semiconductor and the temperature of the top copper layer of the PCB, which is measured by the temperature sensors. Based on this temperature pattern, three detection algorithms using the sensor readings are presented.

The experimental results show that large, coalesced solder faults and bond wire faults, which both are common degradation mechanisms, are reliably detected with the evaluation algorithms and their growth can be observed. In addition to the test vehicle, the fault detection algorithms are applied to two more industry-related test specimen and show similar results. Furthermore, two machine-learning classification approaches are presented that detect severe solder defects with over 97 % accuracy on a dataset extended by the simulation of a large number of fault patterns.

The developed fault detection methods represent novel and feasible approaches for condition monitoring of power semiconductors that can be applied during operation with low computational effort.

by Nils Jahn

Technische Universität Dortmund  
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
Lehrstuhl für Energiewandlung

## **Thermische Onboard-Detektion von Verbindungsfehlern in Leistungshalbleitern**

### **Kurzfassung**

Die Zustandsüberwachung von Leistungshalbleiter erhöht die Sicherheit und Zuverlässigkeit von autonomen und elektrischen Fahrzeugen. Deshalb wird in dieser Thesis ein Konzept für die Detektion von Fehlern in der Aufbau- und Verbindungstechnik von Leistungshalbleitern während des Betriebs vorgestellt. Hierzu wird eine Testanordnung mit einem MOSFET und vier benachbarten Temperatursensoren, welche auf der obersten Kupferlage einer Platine aufgebracht sind, erstellt.

Mehrere solcher Anordnungen werden mit verschiedenen Fehlermustern in der Lötung zwischen Halbleiter und Platine oder Bonddrahtfehlern manipuliert. Ein 3D-Simulationsmodell wird erstellt, um die Auswirkungen aller Fehlerfälle auf die Sperrschichttemperatur des Halbleiters und die Temperatur des umliegenden Kupfers, auf dem die Temperatursensoren angebracht sind, zu bewerten. Basierend auf den resultierenden Sensordaten werden drei Detektionsalgorithmen vorgestellt.

Die experimentellen Ergebnisse zeigen, dass typische Degradationsmechanismen wie Bonddrahtfehler oder große, zusammenhängende Lotfehler sowie deren Wachstum durch die Algorithmen zuverlässig detektiert werden können. Zusätzlich werden die Algorithmen auf zwei industriennahe Testanordnungen angewendet und zeigen ähnliche Resultate. Darüber hinaus werden zwei auf maschinellem Lernen basierende Klassifikationsalgorithmen vorgestellt, die Lotfehler mit einer Genauigkeit von über 97 % in einem Datensatz aus Simulationsergebnissen erkennen.

Die vorgestellten Detektionsmethoden stellen neuartige, praktikable Ansätze für die Zustandsüberwachung von Leistungshalbleitern dar, die mit geringem Rechenaufwand während des Betriebes angewendet werden können.

von Nils Jahn