

Simulationsbasierte Bewertung von Online-Detektionsverfahren für Fehler im Physical Layer von Kfz-Bussystemen

M.Sc. Daniela Trombetti (Daniela.Trombetti@infineon.com)¹, Dipl.-Wirt.-Ing Katharina Feldhues², Prof. Dr.-Ing. Stephan Frei², Dr.-Ing. Dieter Metzner¹, Dipl. Ing. Magnus Maria Hell¹

¹ Infineon Technologies AG, Am Campeon 1-12, 85579 Neubiberg

² Technische Universität Dortmund, Friedrich-Wöhler-Weg 4, 44227 Dortmund

Kurzfassung

In aktuellen Fahrzeugen werden immer mehr sicherheitskritische Informationen über Bussysteme übertragen. Deswegen erhalten Leistung und Zuverlässigkeit des Kommunikationsbussen einen immer bedeutenderen Rang. Da Parameter und mögliche Parameterkombinationen von Kommunikationsbussen sehr zahlreich sind, sind Simulationsmodelle für die Absicherung der Funktion wichtig. In diesem Paper werden zwei Simulationsmodelle, die auch zur Analyse im Fehlerbetrieb geeignet sind, vorgestellt. Sie bilden das Verhalten des Netzwerks nach und ermöglichen die Analyse von Fehlererkennungsmethoden.

Abstract

In modern cars always more safety critical applications communicate over networks. The requirements in terms of performance and reliability of the automotive bus-communication-networks are consequently also increasing. Since the number of involved parameters and the possible combinations of them are numerous, the simulation models are important and they are taking an always more important place. In this Paper two simulation models, which are suitable also for analysis in presence of physical failures in the network, are presented. The behavior of the network can be reproduced and different failure detection methods can be analyzed and compared.

1 Einleitung

Im Fahrzeug spielen elektrische Komponenten eine immer größere Rolle. Aktuell werden in Fahrzeugen der Oberklasse 70 und mehr Steuergeräte an verschiedene Kommunikationsbusse angeschlossen, die wiederum über Gateways miteinander verbunden sind [1]. Allgemein dienen Bussysteme zur Kommunikation zwischen elektrischen Systemen, etwa dem Antriebsstrang, aktiven Sicherheitsgeräten oder Multimediadiensten. Die Zuverlässigkeit der Bussysteme erhält einen immer bedeutenderen Rang. Bus-Netzwerke können durch Störungen auf den Übertragungsleitungen (z. B. Kurzschluss oder defekte Bus-Leitungen) betroffen sein. Die Fahrzeugsicherheit ist dann gefährdet. Fehler sollten schnell erkannt und die Ursache möglichst präzise eingegrenzt werden. Es existieren verschiedene Ansätze zur Fehlerdetektion. Mehrere Arbeiten haben Fehlertoleranz und Zuverlässigkeit aus der Perspektive des Protokolls untersucht [2], [3], [4]. In sicherheitskritischen Anwendungen sollten die Knoten auch physikalische Fehler im Netzwerk erkennen können. In [5] werden verschiedene Methoden zur Fehlererkennung im Physical Layer vorgestellt. Wegen der Vielzahl an Parametern und der zahlreichen möglichen Parameterkombinationen ist die Wahl eines optimalen Verfahrens sehr schwierig. Aufgrund der Komplexität dieses Themas sind Simulationen hilfreich [6]. In diesem Paper werden zwei Simulationsmodelle, die auch für die Analyse von Fehlerfällen geeignet sind, vorgestellt und angewendet. Die Verwendung beider Modelle zusammen liefert um-

fassende Informationen über das Verhalten des Netzwerks im Fall eines Kurzschlusses. Das erste vereinfachte Modell erlaubt eine analytische Bewertung des Netzwerks. Diese ermöglicht es, die parametrische Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen Transceiver und Netzwerk sowie Auswirkungen von externen Komponenten zu sammeln und zu erkennen. Dank der Vereinfachungen lassen sich die unterschiedlichen Einflüsse gut isolieren. Die problematischen Kombinationen können identifiziert und verschiedenen Methoden analysiert werden. Dieses Modell kann mit entsprechenden Anpassungen für verschiedene Bussysteme verwendet werden. Ein zweites Modell, das an einen bestimmten Transceiver gezielt angepasst werden kann, wird im Abschnitt 3.2 vorgestellt. Es liefert sehr genaue Informationen über das Verhalten des Netzwerks. Zusätzlich zu dem Modell des Transceivers sind Simulationsmodelle für die Leitung, Terminierung und Drossel notwendig. Die Modelle werden anhand von Messungen verifiziert. Anschließend werden Untersuchungen im Netzwerk durchgeführt. In diesem Beitrag wird exemplarisch ein FlexRay-Netzwerk näher untersucht.

2 Struktur eines FlexRay Netzwerks und mögliche Fehler

In diesem Abschnitt werden die Struktur eines FlexRay-Netzwerks, mögliche Fehler im Physical Layer und Fehlererkennungsmethoden beschrieben.

2.1 FlexRay Netzwerk

Die Endstufe eines FlexRay-Transmitters besteht aus zwei gleichen Push-Pull-Zweigen, die durch eine Spannungsquelle V_{CC} versorgt werden. Zwei Signale mit inverser Polarität (V_{TX-1} für den Zustand Data_1 und V_{TX-0} für den Zustand Data_0) werden über die Buslast R_{LOAD} (Bild 1) erzeugt.

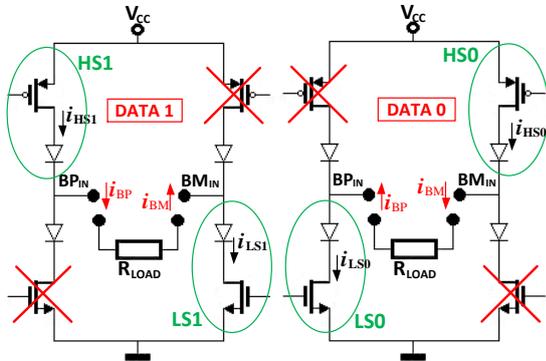


Bild 1 Vereinfachter Aufbau eines FlexRay-Senders bei Data_1 bzw. Data_0

Die gesamte differentielle Buslast (R_{LOAD}) besteht aus den Netzwerk-Abschlusswiderständen und den angeschlossenen Knoten. Jeder Knoten trägt zur allgemeinen Last mit seinen Empfänger-Widerständen R_i bei (Bild 2), wie in [9] spezifiziert.



Bild 2 FlexRay-Netzwerk mit n Knoten und klassischem Netzabschluss

Spezielle Abschlüsse werden an den Enden des Netzwerks verwendet, um Reflexionen zu vermeiden. Sie werden oft mit zwei Widerständen in Reihe und einem Kondensator zwischen der Verbindung der beiden Widerstände und Masse realisiert (Split-Terminierung). Eine Gleichtaktrossel (Common Mode Choke: CMC) kann weiterhin erforderlich sein, um die Emissionen auf dem Bus zu dämpfen und die Immunität gegen Störungen zu verbessern. Die Störströme werden durch eine relativ hohe Impedanz im Gleichtaktbetrieb unterdrückt. In Verbindung mit einem Kondensator bilden sie einen Tiefpassfilter, der die hochfrequenten Gleichtaktstörungen gegen Masse kurzschließt [7]. Ein Masseversatz zwischen den Knoten kann aufgrund langer ohmscher-induktiver Wege und Anschlüsse auftreten. Im statischen Zustand kann er bis 2 V erreichen.

2.2 Fehler und Fehlererkennungs-methoden

In Bussystemen können während der gesamten Lebensdauer physikalische Fehler auftreten. In allen Automobil-Netzwerken können die Leitungen nach Masse (GND) oder Batteriespannung kurzgeschlossen werden. Eine oder beide Leitungen können betroffen sein. Ein anderer möglicher Fehler ist der Kurzschluss zwischen den Busleitungen BP und BM.

Drei verschiedene Busfehlererkennungsmethoden sind in Fahrzeugen denkbar:

- *Bit Compare*: vergleicht die gesendeten Daten mit den empfangenen Daten. Ein Fehler wird detektiert wenn sie nicht gleich sind.
- *Current Limit*: nutzt die Tatsache, dass im Fehlerfall hohe Ströme fließen. Ein Fehler wird erkannt, wenn ein Strom in der Endstufe des Transceiver höher ist als die Strombegrenzung.
- *Common Mode Current Detection*: detektiert einen Gleichtaktstrom auf dem Bus. Es wird der HS- mit dem LS-Strom ($i_{HS} - i_{LS} = 2i_{CM}$) verglichen. Ein Fehler wird erkannt wenn die Differenz zwischen diesen Strömen höher ist als eine bestimmte Grenze.

Im Folgenden wird nur die zweite Fehlererkennungsmethode betrachtet. In ähnlicher Weise können jedoch auch die anderen Methoden mithilfe der vorgestellten Modelle analysiert werden. Eine Fehlererkennung ist mit allen Methoden während der Übertragung möglich. Wenn keine Übertragung stattfindet, können keine Fehler erkannt werden. In FlexRay Netzwerken kann eine Übertragung nur starten, wenn sich der Bus im Idle-Zustand befindet. Dieser Ansatz verhindert simultane Kommunikationen, aber die Fähigkeit, eine Übertragung zu starten, kann von der Größe des Netzwerks abhängen. Im Fehlerfall ist die Spannung auf dem Bus von der Anzahl der Knoten im Netzwerk abhängig.

3 Simulationsmodelle

In diesem Abschnitt werden zwei Simulationsmodelle vorgestellt. Das erste Modell ist ein sehr einfaches Simulationsmodell, welches den Transceiver analytisch nachbildet. Das zweite Simulationsmodell ist genauer und wurde für VHDL-AMS erstellt.

3.1 Vereinfachtes Simulationsmodell

In dem ersten Simulationsmodell (Bild 3) werden die aktiven High-Side (HS) und Low-Side (LS) MOSFETs mit ihren Ersatzwiderständen R_{ON} nachgebildet, während die inaktiven Seiten nicht betrachtet werden. Die HS- und LS-Dioden, die einen ordnungsgemäßen Stromfluss durch die Zweige gewährleisten, gelten als ideal mit einer Schwellspannung V_d . Ein Widerstand R_T repräsentiert die gesamte Terminierung des Netzwerks. Der Masseversatz zwischen den Knoten kann mit einer äquivalenten Spannung V_{GND} berücksichtigt werden. Zwei Widerstände R_i/n und eine Vorspannung V_{BIAS} stellen die n Empfängerknoten

dar. Ein Leitungskurzschluss wird einfach mit einem Schalter realisiert. Die Drossel wird ebenfalls als ideal betrachtet. Der Kopplungsfaktor beträgt einheitlich ($k=1$) und die kleinen parasitären Widerstände der Wicklungen werden nur berücksichtigt, wenn sie nicht vernachlässigbar sind. Die Änderung der Spannung an der Drossel ist proportional zur Änderung des Gleichtaktstroms.

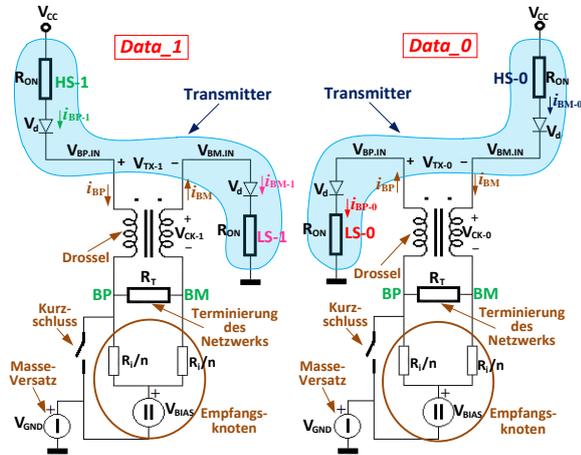


Bild 3 Ersatzschaltung eines FlexRay-Netzwerkes mit n Knoten und klassischem Netzabschluss

Mögliche Werte für die Ersatzwiderstände R_{ON} im ordnungsgemäßen Betrieb sind zwischen 23Ω und 85Ω , um die Anforderungen der Spezifikationen zu erfüllen [9]. Im Normalbetrieb müssen die Ersatzwiderstände des MOSFETs in dem blauen Bereich von Bild 4 liegen.

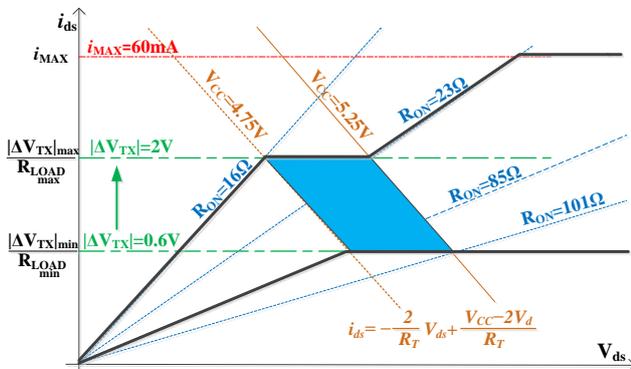


Bild 4 Bereich des möglichen Ersatzwiderstände eines FlexRay-Senders im Normalbetrieb

Darüber hinaus müssen sie so ähnlich wie möglich sein, um eine hohe Symmetrie der Schaltung zu erreichen. Schaltungsasymmetrien sind für die EMV sehr relevant, sie generieren Gleichtaktströme, die sich als Gleichtaktstörung ausbreiten und über die Masse zur Störquelle zurückfließen [7]. Dagegen kann das High-Side- und Low-Side-Verhalten im Fall einer Störung sehr verschieden vom Normalbetrieb aussehen. Das Verhalten eines Netzwerkes hängt ebenfalls stark von seinen Parametern (Transmitter Charakteristik, Bus Terminierung, Masse-Versatz) ab.

3.2 Komplexes Physical Layer Verhaltensmodell

Für das komplexe Physical Layer Modell werden zusätzlich die MOSFETs nachgebildet. Die interne Struktur der Endstufe eines Transceivermodells ist in Bild 5 dargestellt [8].

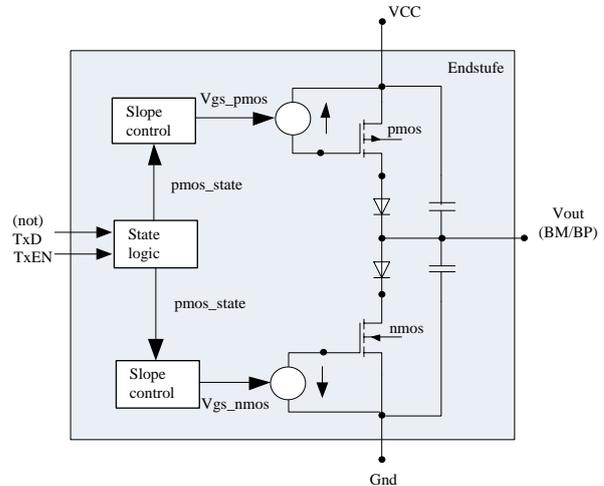


Bild 5 Aufbau der Endstufe des BP- und BM-Zweiges

Die Zweige sind symmetrisch aufgebaut, um das symmetrische Verhalten nachzubilden. Es existiert jeweils ein pull-up und pull-down Zweig zur Nachbildung des Data_0- und Data_1-Zustandes. Die Endstufe wird einmal für die BM- und einmal für die BP-Leitung im Simulationsmodell berücksichtigt. Zusätzlich wird ein Spannungsteiler verwendet, um den dritten Zustand, den Idle-Zustand, nachzubilden. Der Spannungsteiler muss ebenfalls am BP- und am BM-Pin berücksichtigt werden. Mit dem Modell kann der Transceiver sowohl im statischen als auch im dynamischen Betrieb simuliert werden.

3.3 Verhalten des Stroms bei einem Kurzschluss

Bei einem Kurzschluss verändern sich die Spannungen an den High Side (HS) und Low Side (LS)-Transistoren stark im Vergleich zum Normalbetrieb. Deswegen können hohe Ströme in den Transceiver fließen. In [9] ist festgelegt, dass der höchste Strom, der in den Transceiver (oder aus ihm heraus) fließen darf, niedriger als 60 mA sein muss. Aufgrund dieser Vorgabe kann ein Überstromdetektor sinnvoll sein. Dieser erkennt kritische Ströme und begrenzt diese. Eine Überschreitung der Stromgrenze wird signalisiert. Die Reduzierung des Stroms kann mit einer Erhöhung der Ersatzwiderstände für die MOSFETs oder mit einer Kappung der Stromkennlinie im Transistormodell in den Modellen realisiert werden.

Das Verhalten eines Netzwerkes hängt stark von der Funktion der Überstrombegrenzung ab. Das Verhalten der Endstufe in Abhängigkeit von der Spannung wird in Bild 6 gezeigt.

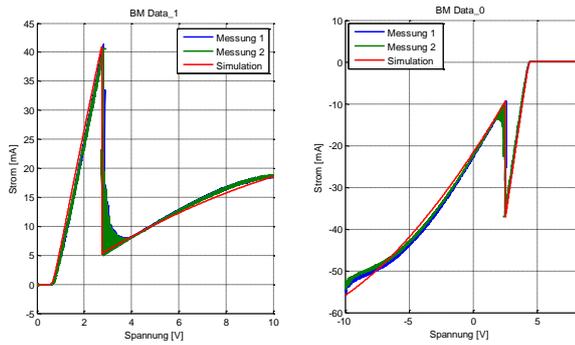


Bild 6 VI-Kennlinie: Vergleich Messung - Simulation

Die Überstromdetektion weist auf Fehler im Physical Layer hin. Ein Kurzschluss kann damit ohne zusätzliche Kosten erkannt werden. Die Fehlerströme können aber aufgrund eines Masse-Versatzes reduziert sein. Somit hängt die Leistung der Erkennungsmethode stark vom gewählten Stromgrenzwert ab. Desto niedriger dieser, desto größer ist der Detektionsbereich und die Leistungen verbessern sich.

Das sich die Ströme auch im ordnungsgemäßen Betrieb wegen Asymmetrien und oft unvermeidbarem Masseversatz ändern und erhöhen können, muss das Verhalten im Normalbetrieb zuerst analysiert werden, um anschließend die Grenzen für die Strombegrenzung zu definieren. Es dürfen keine Fehler im normalen Betrieb detektiert werden.

Der Verlauf des Fehlerstroms in Abhängigkeit von der Änderung des Masseversatzes ist in Bild 7 im statischen und dynamischen Betrieb und im Worst Case gezeigt.

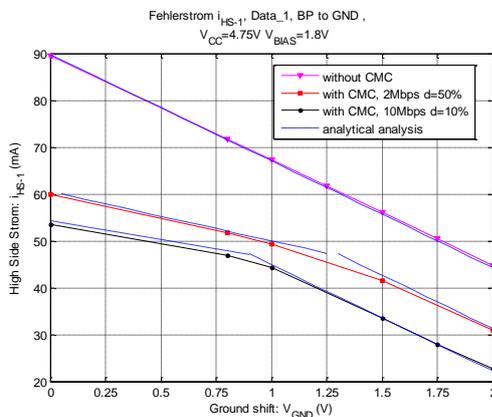


Bild 7 Verhalten des Fehlerstroms mit Änderung des Masse-Versatzes im statischen und dynamischen Betrieb

In dem Bild werden die Simulationsergebnisse von SPICE-Simulationen eines FlexRay Transceivers mit Simulationsergebnissen eines vereinfachten Modells verglichen. Die SPICE-Simulationen wurden mit genauen Transistormodellen und einem Modell der Drossel durchgeführt. Die Strombegrenzung wurde deaktiviert. Die Ersatzwiderstände R_{ON} für das vereinfachte Modell wurden mit Hilfe der VI-Kennlinie berechnet. Beide Simulationen stimmen gut überein.

4 Bestimmung der Fehlererkennungsgrenze

In diesem Abschnitt werden die statischen und dynamischen Fehlererkennungsgrenzen berechnet und gezeigt.

4.1 Statisch

Sobald das Verhalten im Normalbetrieb und der Schwellwert für Strombegrenzung bekannt sind, kann der Einfluss des Masseversatzes auf dem die Überstromschaltung bestimmt werden. Ungefähre Ansprechgrenzen im statischen Betrieb können mit dem vorgestellten Modell bestimmt werden. Der Strom, der während eines Kurzschlusses zu Masse oder V_{CC} fließt ist:

1. Während eines Kurzschlusses zu Masse

$$I = \frac{V_{CC} - V_{GND} - V_d}{R_{ON}}$$

2. Während eines Kurzschlusses zu V_{CC}

$$I = \frac{V_{CC} + V_{GND} - V_d}{R_{ON}}$$

Der einzige Beitrag durch die Drossel, sobald die transienten Vorgänge abgeschlossen sind, entsteht durch den Spulenwiderstand und ist vernachlässigbar. Grenzen für verschiedene Strombegrenzung sind in Bild 8 gezeigt.

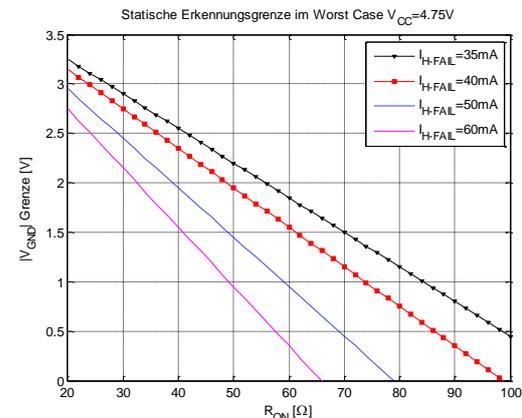


Bild 8 Statische Erkennungsgrenze mit Änderung der Ersatzwiderstände für verschiedene Strombegrenzungen

4.2 Dynamisch

Im dynamischen Betrieb sind weitere Überlegungen notwendig. Die Drossel beeinflusst die Signale bei einem Fehlerzustand. Höhere Spannungen fallen über den Wicklungen der Drossel ab. Die Drossel fügt eine Zeitkonstante hinzu, die von dem Netzwerk und der Endstufe des Transceivers abhängt. Wenn sie größer als eine Bitlänge ist, hängt das Verhalten des Netzwerks von der Vergangenheit ab. Der Strom und alle Signale sind vom Duty Cycle der Übertragung abhängig. Die Split-Terminierung fügt ebenfalls eine Zeitkonstante hinzu. Sie ist jedoch viel kleiner als die der Drossel und führt zu Variationen, die in erster Näherung vernachlässigbar sind.

Um Nachweisgrenzen im dynamischen Betrieb zu definieren, muss die Drossel in der analytischen Analyse betrachtet werden. Die Spannung an der Drossel kann analytisch berechnet und in den Gleichungen benutzt werden. Aus der Analyse folgt, dass der Strom, der in den Transceiver fließt, reduziert wird. Damit wird der Masseversatz, mit dem die Überstromschaltung aktiviert wird, auch reduziert und die Erkennungsleistung verschlechtert. Ergebnisse in dynamischem Betrieb sind in Bild 9 und Bild 10 gezeigt.

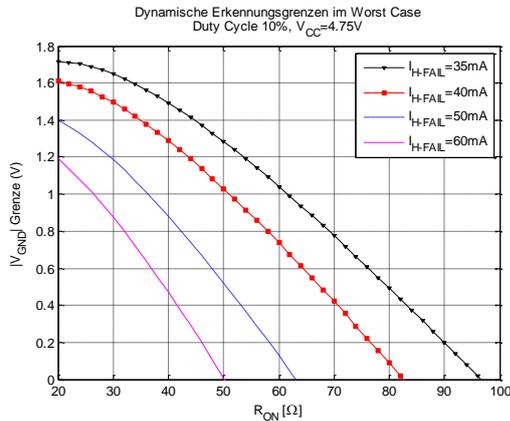


Bild 9 Dynamische Erkennungsgrenzen bei Änderung der Ersatzwiderstände (variable Strombegrenzung)

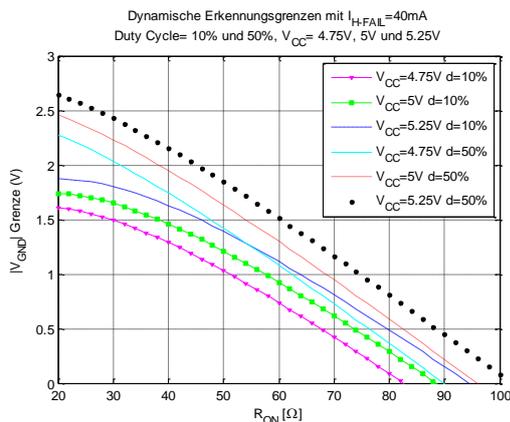


Bild 10 Dynamische Erkennungsgrenzen für verschiedene V_{CC} und Duty Cycle (Strombegrenzung 40 mA)

Um die genauen Erkennungsgrenzen bei Masseversatz zu finden, sollte ein genaueres Modell, wie es in Abschnitt 3.2 beschrieben ist, verwendet werden.

5 Anwendung der Transceivermodelle

In diesem Abschnitt werden zwei verschiedene Fehlerfälle analysiert. Zuerst wird ein einzelner Transceiver im Sendebetrieb betrachtet. Dieser Fehlerfall wird sowohl messtechnisch als auch simulatorisch analysiert. Im zweiten Fehlerfall wird ein Netzwerk betrachtet. Dieses Netzwerk wird sowohl mit als auch ohne Fehler analysiert. Auf diese Art und Weise soll gezeigt werden, dass das mit

dem Simulationsmodell Fehlererkennungsverfahren am Einzeltransceiver und im Netzwerk untersucht werden können.

5.1 Transceiver im Sendebetrieb im Fehlerfall

Für den Transceiver im Sendebetrieb werden zwei Fehlerfälle analysiert. Zuerst wird der BP-Pin mit Masse verbunden, anschließend der BM-Pin (Bild 11).

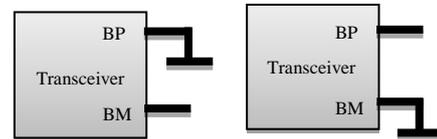


Bild 11 Fehlerfälle am Transceiver

Die Ergebnisse der Gegenüberstellung sind in Bild 12 zu sehen.

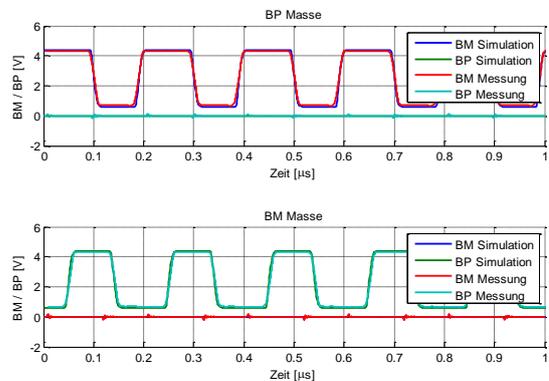


Bild 12 Vergleich Simulation – Messung: Fehler am Transceiver

Es ist zu erkennen, dass das Simulationsmodell auch bei den Fehlern das Verhalten des Transceivers gut nachbilden kann.

5.2 Punkt-zu-Punkt-Verbindung

Es wird eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung sowohl im Normalbetrieb als auch im Fehlerfall betrachtet. Der Fehlerfall ist eine Verbindung einer Busleitung zur Masse.

5.2.1 Im Normalbetrieb

Bei der Analyse der einfachen Punkt-zu-Punkt-Verbindung wird ein Netzwerk aus zwei Transceivern analysiert, welche mit einer Drossel und einer niederohmigen Split-Terminierung (schwarz) abgeschlossen sind. Der Aufbau des Netzwerkes ist in Bild 13 dargestellt. Dieses Netzwerk wird zur Validierung des Simulationsmodells sowohl messtechnisch analysiert als auch simuliert. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse ist Bild 14 zu sehen. Wobei in dem ersten Plot die Spannungsverläufe am Transceiver 1 und im zweiten die Spannungsverläufe am Transceiver 2 dargestellt sind.

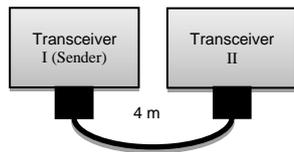


Bild 13 Aufbau der Punkt-zu-Punkt-Verbindung

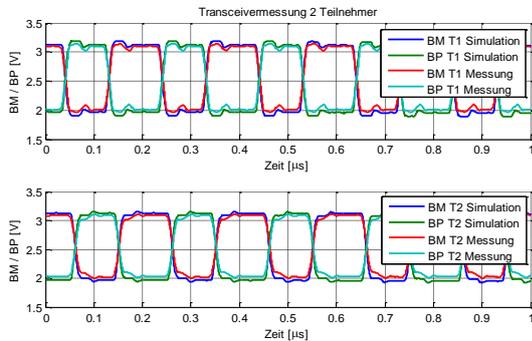


Bild 14 Vergleich Simulation – Messung Punkt-zu-Punkt-Verbindung

Es ist zu erkennen, dass die Simulationsergebnisse mit den Messergebnissen gut übereinstimmen.

5.2.2 Im Kurzschlussfall

Um weiter Gültigkeit des Simulationsmodells auch im Fehlerfall zu zeigen, wird die Punkt-zu-Punkt Verbindung mit Kurzschluss analysiert. Bei einer Punkt-zu-Punkt Verbindung sind mehrere Fehlerfälle denkbar. Es kann einerseits eine Verbindung zur Masse am Sender bei BM oder BP Auftreten, oder beim Empfänger. Ebenso, kann eine Masse Verbindung auf der Leitung existieren. Darüber hinaus ist auch eine Verbindung zwischen BM und BP an jeder Stelle denkbar. Hier wird eine Verbindung zur Masse vom BM-Pin am Sender analysiert.

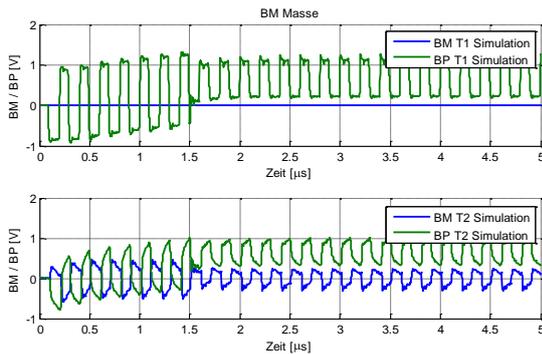


Bild 15 Simulation Fehlerfall

Es ist zu erkennen, dass die Strombegrenzung auch im Fehlerfall aktiviert wird. Somit lassen sich mit Hilfe des Simulationsmodells Fehlerfälle nachbilden.

6 Zusammenfassung – Ausblick

Zwei verschiedene Simulationsmodelle, die auch im Fehlerbetrieb benutzt werden können, wurden in diesem Bei-

trag vorgestellt. Diese bilden das Verhalten von Transceivern gut nach, wie gezeigt wurde. Die Verwendung der Modelle kann umfassende Informationen über das Fehlerverhalten des Netzwerks liefern. Mithilfe dieser Modelle können verschiedene Fehlererkennungsmethoden miteinander verglichen und optimiert werden. Das Verhalten von Fehlererkennungsverfahren im Netzwerk kann analysiert werden. Die statischen und dynamischen Fehlererkennungsgrenzen werden deutlich.

Es wurde auch gezeigt, dass eine aktive Überstrombegrenzung, für eine Fehlererkennung benutzt werden kann. Die Leistung einer Überstromerkennung hängt von dem Design des Transceivers, den Parametern des Netzwerks und der benutzten Strombegrenzungsschaltung ab.

7 Literatur

- [1] T. Nolte, H. Hansson, L. Lo Bello, “Automotive Communications - Past, Current and Future”, ET-FA 2005, Emerging Technologies and Factory Automation, 19-22 Sept 2005
- [2] M. Rahmani, B. Muller Rathgeber, E. Steinbach, “Error Detection Capabilities of Automotive Network Technologies and Ethernet - A Comparative Study”, Intelligent Vehicles Symposium, 2007 IEEE, pp. 674-679, 13-15 June 2007
- [3] M. Dehbashi, V. Lari, S. G. Miremadi, M. S. Shirazi, “Fault Effects in FlexRay-Based Networks with Hybrid Topology”. ARES 08, Third International Conference on Availability, Reliability and Security, 4-7 March 2008
- [4] G. N. Sung, C.Y. Juan, C. C. Wang, “Bus Guardian Design for Automobile Networking ECU Nodes Compliant with FlexRay Standards”, ISCE 2008, IEEE International Symposium on Consumer Electronics, 14-16 April 2008
- [5] D. Trombetti, S. Frei, M. M. Hell, D. Metzner, “Analysis of Failure Detection Methods in Automotive Data Transmission Network”, 5. GMM/ITG-Fachtagung “Zuverlässigkeit und Entwurf”, Hamburg, 27-29 September 2011
- [6] H. Günther, S. Frei, T. Wenzel, W. Mickisch, “Application of advanced search methods for automotive data bus systems signal integrity optimization”, EUROSIM 2010, Prague 2010
- [7] L. Díaz Ortega, K. H. Kraft, L. Claus, M. Döring, “Mit 10 Mbit/s über den FlexRay-Bus”. Elektronik Automotive 2006, H. 6, S. 47 – 51.
- [8] H. Günther, S. Frei, “Simulation Methods for Signal Integrity of Automotive Bus Systems”, APEMC 2010, Beijing, China, 2010
- [9] FlexRay Consortium (2009, Dec.) FlexRay Communication System, Electrical Physical Layer Specification 3.0
- [10] FlexRay Consortium (2009, Dec.) FlexRay Communication System, Protocol Specification 3.0