

Auswirkung höherer Datenraten bei CAN FD (Flexible Datarate) auf die EMV von CAN-Transceivern

Dr. Adrien Schoof, NXP Semiconductors Germany GmbH, In-Vehicle Networking Systems & Applications, Hamburg, Germany

Gunnar Schulz, NXP Semiconductors Germany GmbH, In-Vehicle Networking Systems & Applications, Hamburg, Germany

1. Einleitung

Trotz der zunehmenden Verwendung von Breitbandverbindungen wie FlexRay und Ethernet im Fahrzeug stellt der vergleichsweise langsame CAN-Bus aufgrund seiner Flexibilität und Einfachheit nach wie vor den Großteil der Netzwerke im Auto dar. Da aufgrund zunehmender Datenmengen auf dem CAN-Bus (u. a. Diagnose, ECU-Programmierung, Komfortfunktionen) die Bandbreitenanforderung steigt, wurde der CAN FD-Standard (Flexible Datarate) ausgearbeitet, der innerhalb des Datenfeldes eines CAN FD-Frames eine Erhöhung der Datenrate zulässt.

Das CAN FD-Protokoll gewinnt bei Autoherstellern zunehmend an Bedeutung. Der nächste Schritt ist somit die Untersuchung heutiger CAN-Transceiver und ob sie bei höheren Datenraten die EMV-Anforderungen der Fahrzeughersteller erfüllen. Weiterhin muss hinterfragt und geprüft werden, ob etablierte EMV-Messstandards ihre Gültigkeit behalten oder eventuell angepasst werden müssen.

Der Artikel gibt einen Überblick über den neuen CAN FD-Standard und beschreibt die Auswirkungen der höheren Datenrate auf die Störaussendung und die Störfestigkeit von CAN-Transceivern. Außerdem werden die Notwendigkeit sowie die Auswirkungen externer Filterelemente diskutiert.

2. Unterschiede zwischen dem HS-CAN und CAN FD-Standard

Das CAN FD-Protokoll wurde ursprünglich von Bosch entwickelt [7] mit dem Ziel, die Bandbreite des CAN-Busses zu erhöhen, ohne deutliche Änderungen an der Hardware und Netzwerktopologie. Mittlerweile befindet sich CAN FD im Standardisierungsprozess unter ISO 11898-1.

Beim klassischen HS-CAN (High-Speed-CAN, typisch 500 kbit/s) sowie bei CAN FD ist die maximale Datenrate während der Arbitrierungs- und Acknowledgephase durch die Signallaufzeiten innerhalb des Netzwerkes (loop delay) begrenzt und damit gleich. Beim CAN FD-Protokoll wird im Gegensatz zum klassischen CAN-Protokoll ausgenutzt, dass während der Datenphase jeweils nur ein Transceiver innerhalb des Netzwerkes (unabhängig von der Signallaufzeit) senden darf. Dadurch können die Nutzdaten zwischen der Bus-Arbitrierung bis zum Acknowledge mit einer höheren Datenrate gesendet werden (Bild 1).

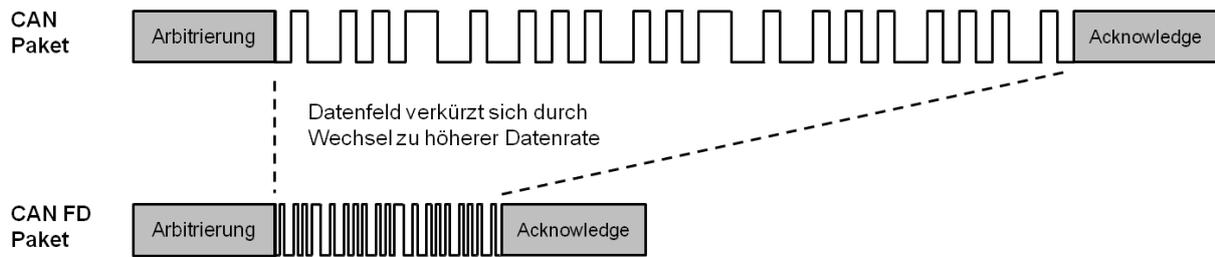


Bild 1: Wesentlicher Unterschied zwischen HS-CAN und CAN FD ist die höhere Datenrate während der Übertragung des Datenfeldes

Unter Berücksichtigung der Topologie von Fahrzeugnetzwerken werden Datenraten von bis zu 8 Mbit/s angestrebt. Als weitere Änderung sieht das CAN FD-Protokoll eine Erhöhung der maximalen Länge des Datenfeldes von 8 Byte auf 64 Byte vor, wodurch sich die Netto-Datenrate zusätzlich deutlich erhöhen lässt.

Sofern die eingesetzten CAN-Transceiver die Anforderungen an eine hohe Datenrate (z. B. kurzer loop delay) erfüllen, genügt es, die bisherigen μ Controller gegen μ Controller mit CAN FD-Funktionalität auszutauschen und die Software der Steuergeräte entsprechend anzupassen. Weitere Änderungen der Hardware bzw. der Netztopologie sind zunächst nicht nötig. Ziel ist es, dass herkömmliche Transceiver-ICs verbaut werden können, die die EMV-Anforderungen der Automobilhersteller erfüllen.

3. EMV-Messaufbau von Transceivern mit CAN FD-Eigenschaften

Durch das neue CAN-Protokoll sowie insbesondere durch die höhere Datenrate ändern sich erwartungsgemäß auch die EMV-Eigenschaften der verwendeten CAN-Transceiver. So bedeutet z. B. die höhere Datenrate, bedingt durch die kürzere Bitdauer, steigende Anforderungen an den Jitter. Ebenso verändert sich auch das Emissionsprofil. Dadurch wird eine Untersuchung der Störaussendung und Störfestigkeit bezüglich des CAN FD-Protokolls zwingend erforderlich.

Zur Evaluierung der EMV von CAN-Transceivern auf IC-Ebene wurde ein Messaufbau nach IEC 62228 [2] verwendet. Dieser besteht aus einem minimalen Netzwerk mit drei CAN-Transceivern sowie Koppelnetzwerken zum Ein- bzw. Auskoppeln der Störeinstrahlung bzw. Störaussendung (Bild 2).

Die Anregung der Transceiver an TxD erfolgt entweder durch einen Signalgenerator mit einem standardisierten 50/50-Signal [2] oder durch ein applikationsnahes CAN FD-Testboard mit zwei CAN FD-Controllern, die ein CAN FD-Signal erzeugen. Zur Bewertung der RxD-Signale dient entsprechend entweder ein Oszilloskop mit Maskentest oder der Fehlerspeicher der CAN FD-Controller.

Entsprechend den Anforderungen der deutschen OEMs [1] wurden als Filterelemente ausschließlich 100- μ H-Gleichtaktdrosseln verwendet.

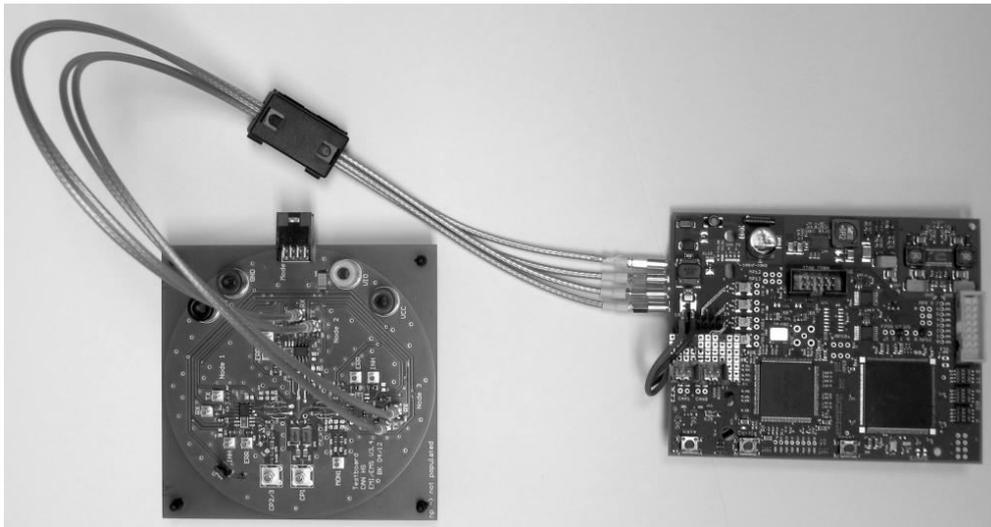


Bild 2: Testplatinsystem für CAN FD EMV-Messungen. Links EMV-Testplatine nach [2], rechts Ansteuerplatine mit CAN FD-fähigem μ Controller.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden die Störfestigkeit (Direct Power Injection, [4]) sowie die Störaussendung (150-Ohm-Methode, [3]) untersucht. Transiente Störungen (Direct Capacitive Coupling, [5]) sowie ESD [6] wurden im Rahmen dieses Beitrages nicht untersucht, weil deren Störfestigkeit nach den bisherigen Erkenntnissen unabhängig von der Datenrate und damit identisch zu den Werten bei 500 kbit/s ist.

4. Untersuchungen zur Störfestigkeit

Die HF-Störbeaufschlagung eines Transceiver-ICs führt ab einem bestimmten Pegel zu einer gestörten Datenübertragung (z. B. Jitter) und damit zu einem Masken- bzw. Bitfehler. Dieser Effekt kann ursächlich mit dem Umschaltmoment zwischen dem dominanten und rezessiven Zustand und umgekehrt erklärt werden. In diesem Zeitfenster reagieren z. B. Asymmetrien oder Schwächen im IC besonders empfindlich auf die Störeinkopplung. Proportional zu der zunehmenden Datenrate wird der erlaubte Toleranzbereich des Jitters (Maske) kleiner (Bild 2). Dieses führt aufgrund der konstanten Flankenbreite eines Transceivers zu einer höheren Empfindlichkeit bei höherer Datenrate.

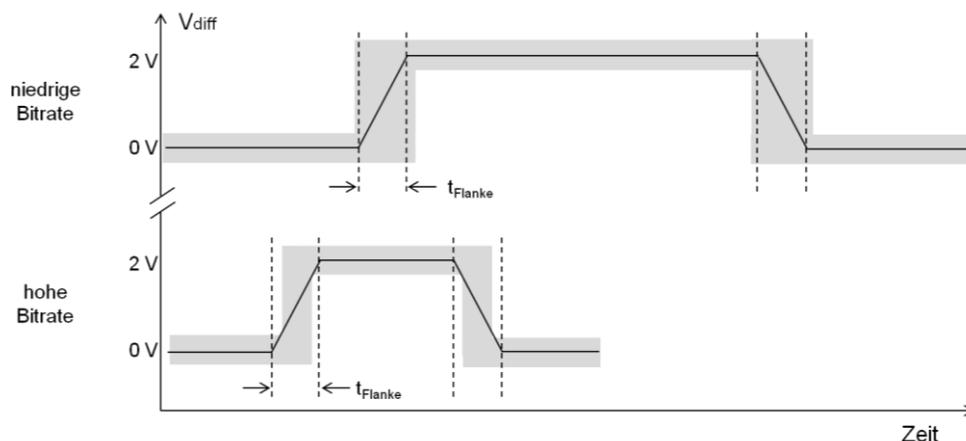


Bild 3: CAN-Bus-Differenzsignal bei zwei unterschiedlichen Datenraten sowie erlaubte Jitter-Maske (grau) nach [2]

Eine hohe Störfestigkeit würde damit eine möglichst hohe Flankensteilheit erfordern. Dieses widerspricht jedoch der Anforderung an eine möglichst geringe Störaussendung, da sich diese bei differenziellen Signalen und Asymmetrien im Design deutlich erhöhen würde. Damit bleibt die Flankensteilheit ein Kompromiss zwischen Störaussendung und Störfestigkeit.

In den folgenden Bildern ist die Störfestigkeit eines CAN-Transceivers bezüglich höherer Datenraten gemessen und dargestellt. Im Maskentest mit Signalgenerator nach [2] erkennt man ohne Filterung (Drossel) eine deutliche Verschlechterung der Eigenschaften mit zunehmender Datenrate (Bild 4). Dieses ist bedingt durch die oben beschriebene, kleiner werdende Maske. Wie oben diskutiert, wurde diese, in Anlehnung an das derzeitige Kriterium von ± 200 ns (entsprechend ± 10 % bei 500 kbps [2]), ebenfalls auf 10 % der Bitdauer reduziert. Sobald das Maskenkriterium in den Bereich der zeitlichen Länge der Schaltflanke kommt, bricht die Störfestigkeit deutlich ein.

Mit Drossel sieht man erwartungsgemäß, dass lediglich bei niedrigen Frequenzen eine Abhängigkeit von der Datenrate (Bild 5) sowie eine leichte Verletzung des Grenzwertes (nach [1]) bestehen. Ursache ist die Filterwirkung der Drossel, die erst oberhalb von ca. 10 MHz einsetzt.

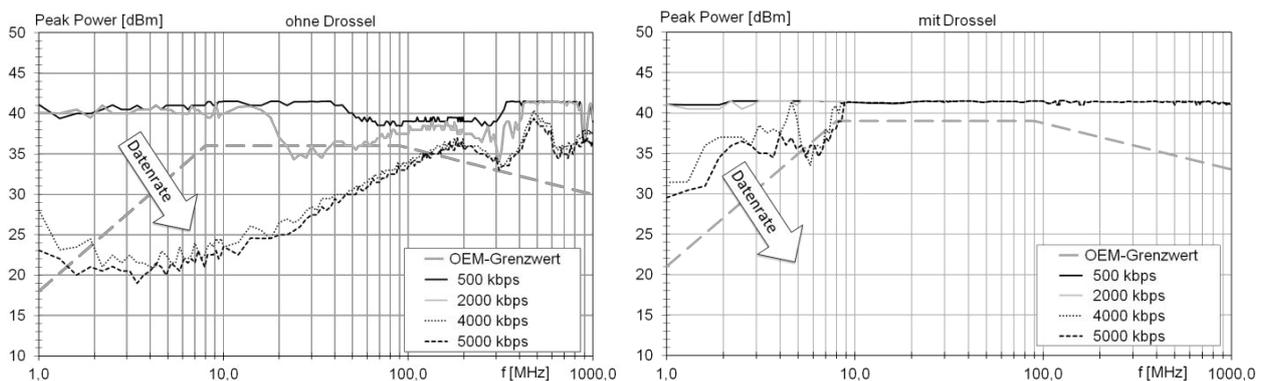


Bild 4 und 5: DPI-Störfestigkeit eines CAN-Transceivers bei unterschiedlicher Datenrate entsprechend [2]

Im Vergleich zum Maskentest mit Signalgenerator nach [2] sind im CAN FD-Aufbau mit μ Controller kaum Auswirkungen der Datenrate zu erkennen (Bild 6). Der Grund liegt in dem deutlich späteren Abtastzeitpunkt des μ Controllers, der erst bei ca. 75 % der Bitlänge abtastet und damit die Entscheidung über einen Bitwechsel deutlich später trifft. Dieser Zeitpunkt liegt auch bei hohen Datenraten deutlich nach der Schaltflanke des Transceivers.

Mit Drossel treten beim CAN FD-Protokoll innerhalb des Messbereiches ab 5 MHz keine Ausfälle auf (Bild 7).

Weitere Untersuchungen bezüglich unterschiedlicher Framelängen haben keinen erkennbaren Einfluss auf die Störfestigkeit gezeigt und werden hier nicht weiter betrachtet.

Aufgrund des signifikanten Unterschiedes zwischen den beiden angewandten Messverfahren muss diskutiert werden, ob das derzeitige Maskenkriterium im Test nach [2] bei Transceivern mit CAN FD-Eigenschaften und hohen Datenraten angewendet werden kann. In diesem Fall würde man deutlich schlechtere Ergebnisse erhalten und als Kon-

sequenz eine Diskrepanz zwischen IC- (Maskentest) und Komponentenmessung (mit CAN FD-Controllern).

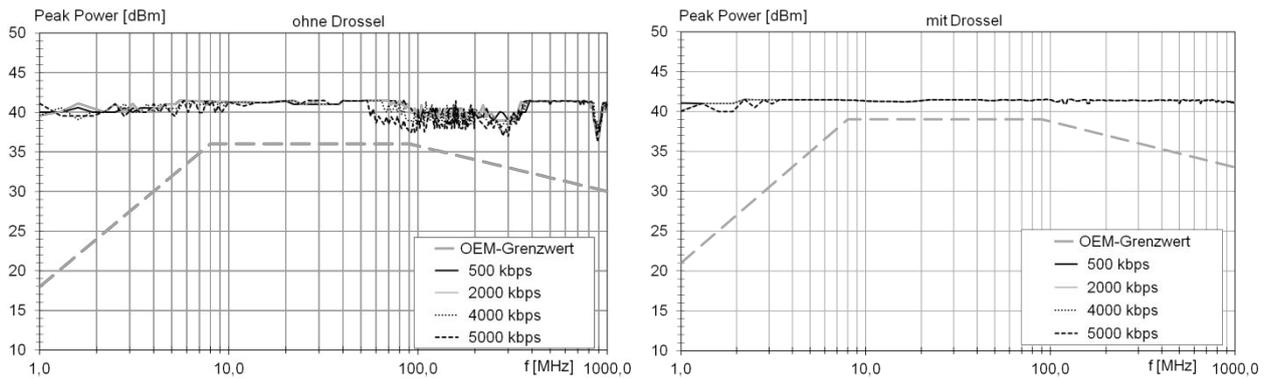


Bild 6 und 7: Störfestigkeit eines CAN-Transceivers bei unterschiedlichen Datenraten, gemessen mit einem CAN FD-Testaufbau

In Anlehnung an den FlexRay-Standard könnte man hier z. B. Messungen mit unterschiedlichen Maskenbreiten bei gleicher Datenrate durchführen um ggf. eine bessere Übereinstimmung zwischen Messungen auf IC-Ebene und Komponentenebene zu erzielen. Für höhere Datenraten muss das heute bestehende Maskenkriterium, wie oben beschrieben, immer angepasst und zukünftig neu spezifiziert werden.

5. Untersuchungen zur Störaussendung

Unabhängig von der Datenrate hat der differenzielle CAN-Bus im Idealfall keine Störaussendung, da die Summen- bzw. Mittenspannung der beiden Busleitungen konstant sind. In Wirklichkeit kommt es jedoch aufgrund von Asymmetrien zwischen den CAN_H- und CAN_L-Ausgangstreibern sowie aufgrund von Fertigungstoleranzen zu einem unterschiedlichen Verlauf des Schaltverhaltens der Treiberstufen sowie zu einem Offset zwischen dem rezessiven und dem dominanten Summensignal der Busspannungen (Bild 8).

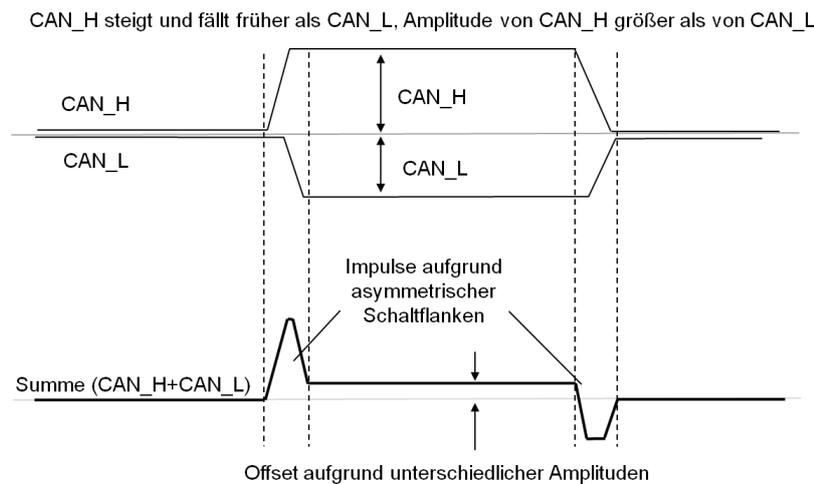


Bild 8: Vereinfachte Darstellung der typischen Verläufe der Busspannungen eines CAN-Transceivers

Beide Aspekte verhalten sich unterschiedlich im Hinblick auf eine Erhöhung der Datenrate: Die durch die unsymmetrischen Schaltflanken hervorgerufenen kurzen Impulse sind konstant in Form und Amplitude und ihre Anzahl ist proportional zur Anzahl der Bitwechsel und damit auch zur Datenrate. Mit der Datenrate ändert sich das Tastverhältnis des näherungsweise trapezförmigen Summensignals. Eine Verdopplung der Datenrate führt zu einer doppelten Anzahl an Impulsen und damit zu einer um 6 dB erhöhten Störaussendung.

Demgegenüber stellt der Offset ein trapezförmiges Signal mit konstanter Amplitude und konstantem Tastverhältnis dar. Eine Verdopplung der Datenrate bewirkt hier eine um den Faktor 1,4 [8] erhöhte Grenzfrequenz des Störaussendungsspektrums.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die beim Erzeugen der Schaltflanken hervorgerufenen, kurzen Impulse des Summensignals das Störaussendungsspektrum dominieren. Dieses ist in Bild 9 dargestellt, welches eine Messung entsprechend [2] für unterschiedliche Datenraten zeigt. Mit Verdopplung der Datenrate nimmt die Störaussendung um 6 dB zu.

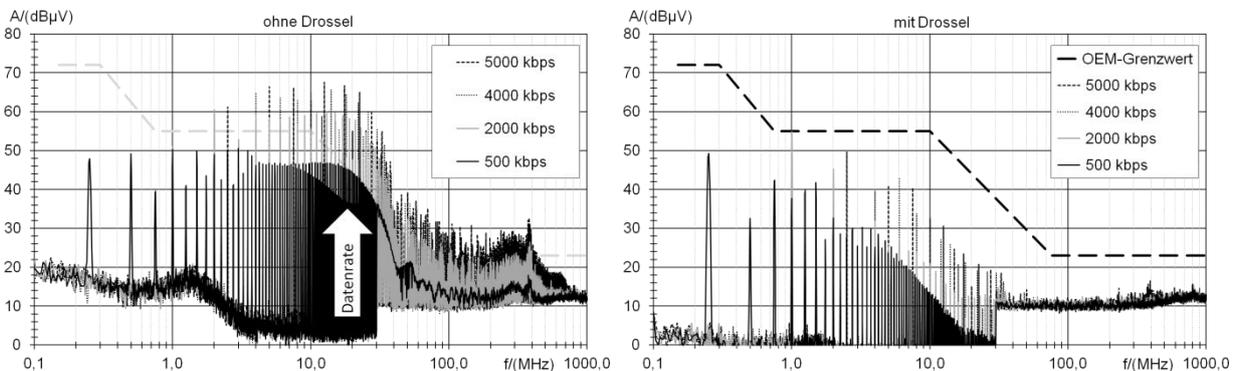


Bild 9 und 10: Störaussendung eines CAN-Transceivers bei höheren Datenraten, gemessen nach [2]

Dieses Verhalten zeigt sich auch bei den Messungen im CAN FD-Aufbau (Bild 11). Bei genügend langer Messdauer bzw. ausreichend hoher Paketrage nähern sich die Störaussendungswerte des CAN FD-Protokolls dabei denen der Störaussendungsmessung nach [2] an (Vergleich Bild 9 und Bild 11), so dass auch hier die Grenzwerte der deutschen OEMs eingehalten werden.

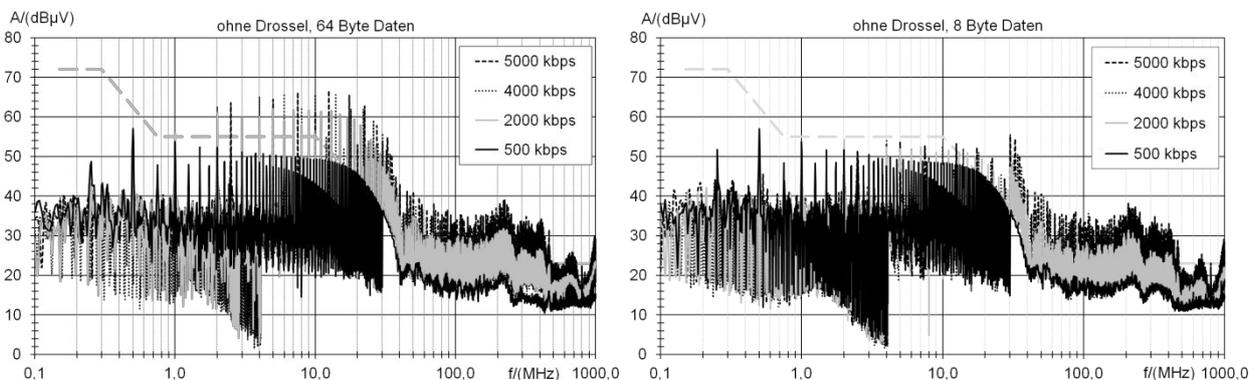


Bild 11 und 12: Vergleich der Störaussendung eines CAN FD-Protokolls mit 64 Byte (links) und 8 Byte (rechts) langem Datenfeld

Die einzige Abweichung zwischen beiden Messverfahren entsteht bei kurzen CAN FD-Paketen (Vergleich Bild 11 und Bild 12).

Die Störaussendung wird bestimmt durch die maximale Anzahl der Bitwechsel innerhalb der Einschwingzeit des Auflöseseitenbandbreitenfilters des Messempfängers (Peak Detektor). Im Frequenzbereich bis 30 MHz ist dies der 9-kHz-Filter (6 dB) mit seiner relativ langen Einschwingzeit von ca. 80 µs. Bei kurzen CAN FD-Datenfeldern ist die Anzahl der Bitwechsel innerhalb der Einschwingzeit näherungsweise konstant, da die Übertragungszeit ungefähr gleich der Einschwingzeit ist. Es fällt somit immer nur ungefähr ein Frame in einen Messpunkt, unabhängig von der Datenrate (Bild 13).

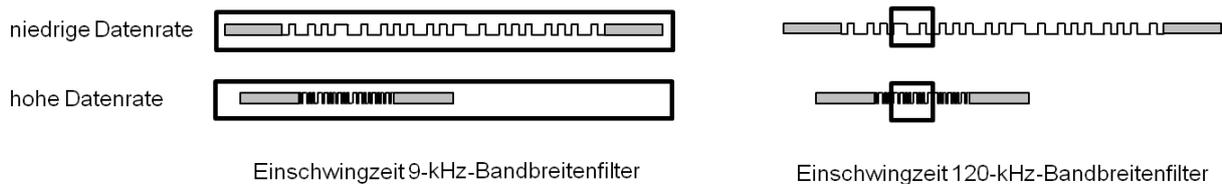


Bild 13: Kurze CAN FD-Frames bei unterschiedlicher Datenrate im Vergleich zur Einschwingzeit unterschiedlicher Auflöseseitenbandbreitenfilter eines Messempfängers

Für Frequenzen ab 30 MHz, bei denen der 120-kHz-Filter zum Einsatz kommt, tritt dieser Effekt nicht auf, da bereits das Datenfeld immer länger als die Einschwingzeit des Messempfängers ist. Hier ist die maximale Anzahl der Bitwechsel während der Einschwingzeit maßgeblich von der Datenrate des Datenfeldes abhängig. Da CAN FD insbesondere zur Übertragung großer Datenmengen konzipiert wurde, spielt der Effekt kurzer Frames im Frequenzbereich bis 30 MHz jedoch eher eine untergeordnete Rolle.

Aus den diskutierten Messungen kann geschlossen werden, dass bei höheren Datenraten wegen der stark zunehmenden Störaussendung gefiltert werden muss, um die Grenzwerte einzuhalten (Bild 10). Die mit zunehmender Frequenz ansteigende Gleichtaktdämpfung der Drossel überkompensiert dabei die mit der Datenrate ansteigende Störaussendung. Somit zeigt sich bei Verwendung einer Drossel nicht die ohne Drossel vorliegende 6 dB Erhöhung bei Verdopplung der Datenrate. Selbst mit Filterung ist es allerdings im Bereich bis 5 MHz wegen der im MW-Band liegenden Resonanz zwischen Drossel und IC schwierig, bei höheren Datenraten den Grenzwert einzuhalten.

Wegen der starken Abhängigkeit der Störaussendung von der Datenrate ist auch bei deutlicher Reduzierung des Emissionsprofils zukünftiger CAN-Transceiver keine signifikante Verbesserung der Störaussendung ohne Filter bei hohen Datenraten zu erwarten. So müsste ein Transceiver bei 500 kbit/s mindestens 12 dB unterhalb des Grenzwertes liegen, um bei 2 Mbit/s noch den Anforderungen an die Störaussendungsgrenzwerte zu genügen.

6. Zusammenfassung, Ausblick

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass heutige CAN-Transceiver auch bei höheren Datenraten eingesetzt werden können und eine stabile Kommunikation gewährleistet ist.

Das CAN FD-Protokoll bietet damit eine einfach zu realisierende und günstige Möglichkeit zur Erweiterung der verfügbaren Bandbreite des CAN-Busses. Bei Wahl geeigneter Transceiver müssen hierbei lediglich der Controller und die Software, nicht aber der Transceiver oder die Netzwerktopologie, angepasst werden.

Bezüglich der EMV-Messergebnisse wird festgestellt, dass aufgrund der Anforderungen an die Störaussendung bei Transceivern mit CAN FD-Eigenschaften eine Filterung mittels Drossel notwendig ist, die auch Vorteile für die Störfestigkeit mit sich bringt. Heute gültige Grenzwerte werden dabei nicht verletzt.

Die Untersuchungen bezüglich IC- und Komponentenmessverfahren haben deutlich unterschiedliche Resultate hinsichtlich der Störfestigkeitsmessung ergeben. Hier müssen zukünftig die Messverfahren und die Korrelation der Ergebnisse neu diskutiert und angepasst werden.

Des Weiteren ist der nächste Schritt, dass HS-CAN-Transceiver mit höheren Datenraten auf Modul- und Fahrzeugebene mit realen Steuergeräten untersucht werden.

7. Literatur

- [1] Hardware Requirements for LIN, CAN and FlexRay Interfaces in Automotive Application – AUDI, BMW, Daimler, Porsche, Volkswagen – Revision 1.3 / 2012
- [2] IEC 62228, EMC evaluation of CAN Transceivers, 2007
- [3] IEC 61967-4, Integrated circuits, Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz – Part 4: Measurement of conducted emissions – 1 Ω /150 Ω direct coupling method, 2006
- [4] IEC 62132-4, Integrated circuits, Measurement of electromagnetic immunity, 150 kHz to 1 GHz – Part 4: Direct RF power injection method, 2006
- [5] ISO 7637-3, Road vehicles -- Electrical disturbances from conduction and coupling – Part 3: Electrical transient transmission by capacitive and inductive coupling via lines other than supply lines, 2007
- [6] IEC 61000-4-2, Electromagnetic compatibility, Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test, 2003
- [7] CAN with Flexible Data-Rate Specification, Version 1.0, 04.2012, Robert Bosch GmbH, www.bosch-semiconductors.de/media/pdf_1/canliteratur/can_fd_spec.pdf
- [8] Flankensteilheitsdefinition kontra EMV Messung, Dr. Bernd Deutschmann, Dr. Frank Klotz, Infineon Technologies AG, Neubiberg, EMV Düsseldorf 2010, 2010