

ethernet

Fachmedium für professionelle Automobilelektronik

Sonderdruck



(Bild: E_K - Shutterstock)

Analyse des Physical Layer im Fahrzeugkabelbaum:

Sauber getrennt

Zur Kommunikation zwischen den Steuergeräten wird als Ergänzung zu bestehenden Bussystemen mit geringen Datenraten wie CAN, LIN und FlexRay sowie schnellen Punkt-zu-Punkt-Pixel-Links über LVDS zunehmend auch das Ethernet-Protokoll ins Fahrzeug implementiert. Im Rahmen des IEEE werden speziell für die Anforderungen im Automobilbereich optimierte Ethernet-Varianten – 100BASE-T1 und 1000BASE-T1 – standardisiert, die Datenraten von 100 Mbit/s und 1 Gbit/s über ein differenzielles Adernpaar ermöglichen. Hierzu hat die Normung innerhalb der OPEN Alliance bereits eine Reihe von Spezifikationen verab-

Die Visualisierung von Automotive-Ethernet-Datenströmen auf einem BroadR-Reach Link ist keine einfache Aufgabe, da sich Hin- und Rückkanal ein Leiterpaar im Vollduplex-Betrieb teilen. Mit Hilfe eines speziellen Messkopplers sind dennoch konventionelle Untersuchungen etwa mittels Augendiagrammen möglich.

Von Stephan Schreiner, Thomas Müller und Dr. Gunnar Armbrecht

schiedet, die u.a. Kanal- und Komponentengrenzwerte sowie verschiedene Tests zur Interoperabilität definieren.

Ein entscheidender Schritt bei der Einführung neuer Bussysteme ins Fahrzeug ist die Systemintegration. Da es

hier um ungeschirmte Ethernet-Übertragungskanäle geht, spielen sogenannte Koexistenz-Analysen eine wichtige Rolle. Dabei wird das Zusammenwirken von Ethernet-Verbindungen mit allen anderen Bordnetzteilnehmern und dem

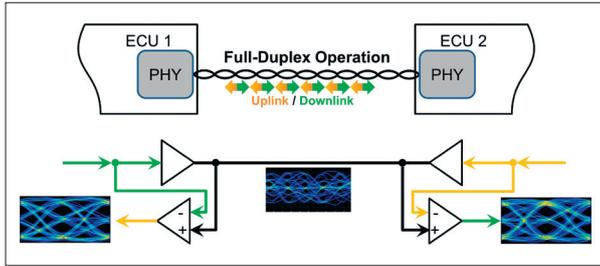


Bild 1. Funktionsweise der Echokompensation bei Vollduplex-Datenverbindungen über ein differenzielles Adernpaar. (Bilder: Rosenberger)

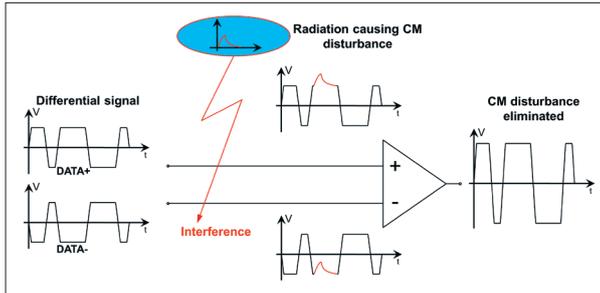


Bild 2. Schematische Darstellung des Vorteils differenzieller Datenübertragung: Durch die Bildung der Differenz am Empfänger wird die Störung eliminiert.

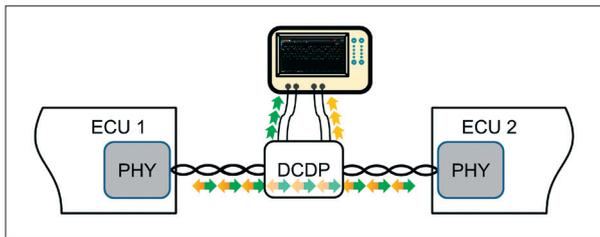


Bild 3. Der Messkoppler (DCDP) koppelt die überlagerten Signale des Uplink und des Downlink getrennt voneinander aus.

Hochvoltantriebsstrang überprüft. Dementsprechend rückt die Evaluierung und Verifikation der Ethernet-Systeme im verbauten Kabelbaum zunehmend in den Vordergrund – auch wenn dies nach heutigem Stand noch in keiner der oben genannten Normen zwingend vorgeschrieben ist.

Herausforderung Vollduplex-Übertragung

Die neuen Ethernet-Protokolle 100BASE-T1 und 1000BASE-T1 generieren zur Datenübertragung eine Vollduplex-Verbindung über nur ein differenzielles Adernpaar. Das bedeutet, dass auf dem gleichen physischen Adernpaar Nachrichten von der ECU 1 zur ECU 2 (Downlink) und zur gleichen Zeit Nachrichten von der ECU 2 zurück an die ECU 1 (Uplink) übertragen werden können. Durch dieses Verfahren sind somit Uplink- und Downlink-Signale auf der

Leitung kontinuierlich überlagert und laufen in entgegengesetzter Richtung.

Trotz der Überlagerung der Signale auf der Leitung ist die Lesbarkeit der Daten für die an der Übertragung beteiligten Transceiver gegeben, da beide Transceiver ihre eigenen Sendedaten und somit auch den Anteil des eigenen Signals an den überlagerten Signalen auf der Leitung kennen. Somit ist es ihnen möglich, das zu empfangende Signal der Gegenseite aus dem Summensignal zu rekonstruieren, wie in **Bild 1** vereinfacht dargestellt ist.

Hierbei wird deutlich, dass bei diesem unter dem Namen Echokompensation bekannten Verfahren (engl. Echo Cancellation) zur Rekonstruktion der Empfangsdaten die Kenntnis der eigenen Sendedaten vorausgesetzt ist. Während dieser Umstand für die an der Übertragung beteiligten Transceiver keine Schwierigkeit darstellt, ist eine einfache Evaluierung der Signale, Symbole und Frames auf der Leitung durch einfaches konventionelles Probing mittels Oszilloskop und Tastkopf nicht möglich, da keiner der beiden Signalanteile bekannt ist. Im Gegensatz zu etablierten Systemen wie CAN oder FlexRay, welche im Semiduplex-Betrieb arbeiten und somit sicherstellen, dass immer nur ein Sender aktiv ist, ist es bei Vollduplex-Systemen notwendig, Uplink- und Downlink-Datenstrom zur Messung bzw. Dekodierung aufzutrennen.

Grundsätzlich kann eine symmetrische Leitungsstruktur mit zwei Signalleitern im sogenannten Gleichtakt (engl. Common Mode) oder im Gegentakt (engl. Differential Mode) betrieben werden. Die Informationsübertragung findet, wie in **Bild 2** gezeigt, im Gegentakt statt, indem beide Leiter gegenphasig angesteuert werden. Durch den geringen Abstand der beiden Leiter zueinander wirkt eine Störung auf beide Leiter gleichphasig und tritt somit im Gleichtakt auf. Durch die Bildung der Differenz am Empfänger wird die Störung eliminiert – soweit zumindest die Theorie. In der Praxis führen bei realen Systemen jedoch bereits geringste Unterschiede zwischen den Adernpaaren zur Modenkonzersion, also den Übergang eines Teils der Energie des Gegentakts in den Gleichtakt und umgekehrt. Speziell für ungeschirmte Systeme spielt deshalb dieser Parameter eine entscheidende Rolle.

Zum Zeitpunkt der Fahrzeugintegration sind die zu verwendenden Komponenten ausgewählt, und es ist bereits sichergestellt, dass diese den Spezifikationen des OEM bzw. öffentlichen Standards (OPEN Alliance, IEEE) entsprechen. Freiheitsgrade gibt es in diesem Stadium der Fahrzeugentwicklung im Wesentlichen in der Leitungsführung und in der Anordnung der Steuergeräte (engl. Packaging) im Fahrzeug. Um hierbei optimale Lösungen zu finden, sind insbesondere Messungen der Signalintegrität der Übertragungsverbindung im regulären Betrieb und unter dem Einfluss aller potenzieller elektromagnetischer Störquellen und -senken im Fahrzeug notwendig.

Neuer Ansatz für Messungen

Um einen Einblick in die Datenübertragung zu bekommen, können Netzwerk-

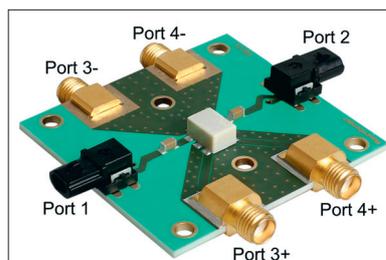


Bild 4. Der differenzielle Messkoppler für Automotive Ethernet ist an Port 1 und Port 2 mit Rosenbergers MTD-Stecksystem ausgerüstet.

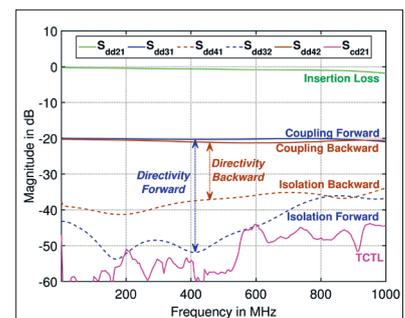


Bild 5. Exemplarischer Verlauf der differentiellen Streuparameter der DCDP.

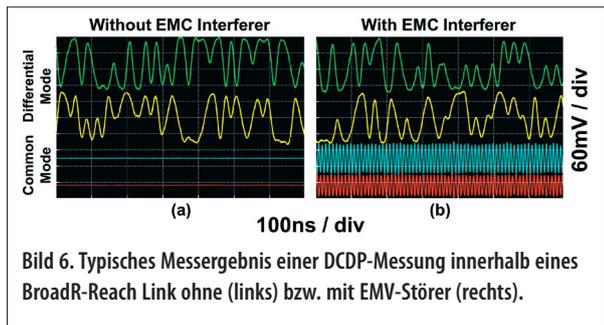


Bild 6. Typisches Messergebnis einer DCDP-Messung innerhalb eines BroadR-Reach Link ohne (links) bzw. mit EMV-Störer (rechts).

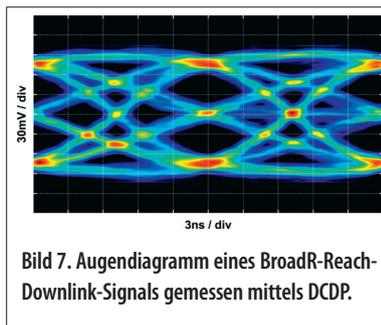


Bild 7. Augendiagramm eines BroadR-Reach-Downlink-Signals gemessen mittels DCDP.

mit einem Wert von weniger als -40 dB als sehr gering angesehen werden kann.

Der Messkoppler im Einsatz

Bild 6 zeigt die bei einer Messung aufgezeichnete

Switches in einen Link eingebracht werden. Diese Switches arbeiten als Datenverteiler und sind in der Lage, die Datenpakete an einem zusätzlichen digitalen Port zur Verfügung zu stellen. Da bei diesem Verfahren jedoch die Daten innerhalb des Switch empfangen, aktiv aufbereitet und weitergeleitet werden, ist eine unmittelbare Bewertung der Signalqualität z.B. anhand der Augendiagramme und der Auswertung von Jitter-Komponenten nicht möglich. Die Eigenschaften der Verbindung sind durch das Einbringen des zusätzlichen Switch im Vergleich zum Serienbetrieb signifikant beeinflusst. Dadurch sind Messungen der Signale und eine Bewertung der Signalintegrität nicht möglich.

Um eine Bewertung der Signalintegrität zu ermöglichen, wurde von der Firma Rosenberger eine passive Probe in Form eines differenziellen Messkopplers entwickelt, die den Namen „Differential and Common Mode Directional Probe (DCDP)“ trägt. Die DCDP kann, wie in Bild 3 gezeigt, an einer beliebigen Stelle der Verbindung eingefügt werden und koppelt die überlagerten Signale des Uplink und des Downlink getrennt voneinander aus. Der zu vermessende Daten-Link wird dabei nur geringfügig beeinflusst. Um beide Datenraten (100 Mbit/s und 1 Gbit/s) abzudecken, ist ein Frequenzbereich von 1 MHz bis 600 MHz notwendig.

Wie bereits beschrieben, breiten sich die Uplink- und Downlink-Signale bei Automotive Ethernet in ihrer Richtung entgegengesetzt aus. Um die Datensignale voneinander zu trennen, beruht das Funktionsprinzip des Messkopplers daher auf der sogenannten Richtkopplung – bekannt aus der Antennen- und Hochfrequenztechnik. Unter den Begriff des Richtkopplers fallen unterschiedlichste Ansätze, wobei für die DCDP zwei integrierte Richtkoppler auf Basis von gekoppelten Transformatoren gewählt wurden. Diese Topologie bietet

den Vorteil, dass, wie bereits in Bild 2 gezeigt, sowohl die Nutzdaten im Gegentakt als auch Störsignale im Gleichtakt betrachtet werden können.

Die Gleichtaktimpedanz wird bei ungeschirmten, differenziellen Systemen maßgeblich durch die Umgebung bestimmt, in der sich der Link befindet. Diese liegt, je nach Verlegung im Fahrzeug, im Bereich zwischen 100 Ohm und 200 Ohm. Um die EMV-relevanten Parameter des Systems möglichst wenig zu stören, wurde innerhalb des Messkopplers eine Gleichtaktimpedanz mit einem Wert von ca. 150 Ohm gewählt. Diese weicht damit bewusst von den 25 Ohm innerhalb von messtechnischen Systemen mit differenziell betriebenen Koaxialleitungen ab. Wird ein wie in Bild 4 gezeigtes Design gewählt, bei dem die integrierten Koppler auf der Ober- und Unterseite symmetrisch angeordnet sind, lassen sich die Parameter Modenkonzersion, Einfügedämpfung sowie Gleich- und Gegentaktimpedanz optimieren.

In Bild 5 sind exemplarisch die differenziellen Streuparameter S_{dd21} (Einfügedämpfung im Durchgang), S_{dd31} (Koppeldämpfung Vorwärtsrichtung), S_{dd42} (Koppeldämpfung Rückwärtsrichtung), S_{dd32} (Isolation Vorwärtsrichtung), S_{dd41} (Isolation Rückwärtsrichtung) und S_{cd21} (Modenkonzersion im Durchgang) dargestellt. Der Abstand zwischen Koppeldämpfung und Isolation einer Richtung wird als Richtschärfe bezeichnet und ist der zentrale Parameter zur Trennung von Uplink und Downlink. Bezüglich der Richtschärfe besitzt der Koppler eine Vorzugsrichtung, bei der eine Richtschärfe von mehr als 22 dB über den gesamten Frequenzbereich von 1 MHz bis 600 MHz erreicht wird. Die Einfügedämpfung der DCDP beträgt im selben Frequenzbereich weniger als 1 dB, während die Modenkonzersion, also die Umwandlung eines Gegentaktsignals in ein Gleichtaktsignal und umgekehrt,

ten Signale einer BroadR-Reach-Übertragungsstrecke von 10 m Länge, bei der die Separation beider Datenströme im Gegentakt und auch die Auswirkung eines EMV-Störers im Gleichtakt dargestellt werden. Die Datensignale in Vor- und Rückwärtsrichtung können jeweils die für ein BroadR-Reach typischen PAM3-Signalwerte von -1 , 0 und $+1$ annehmen. In Bild 6a ist hierbei kein Gleichtaktsignal vorhanden, da keine EMV-Störung auf dem Link vorhanden ist. In Bild 6b wird eine Übertragung ausgewertet, bei der zusätzlich ein EMV-Störsignal mit einer Frequenz von 100 MHz mittels einer BCI-Koppelzange aufgeprägt wurde. Hier werden die



Stephan Schreiner, M. Eng.

studierte Elektro- und Informationstechnik an der Hochschule Rosenheim mit dem Schwerpunkt Kommunikationstechnik. Bei der Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH & Co. KG ist er Systemingenieur im Bereich Forschung & Entwicklung und Spezialist für Signalintegrität.



Dipl.-Ing. (FH) Thomas Müller

studierte Telekommunikationstechnik und -systeme an der FH Salzburg mit den Schwerpunkten Netzwerktechnik sowie Informatik und Software-Technik. Bei Rosenberger ist er Entwicklungsingenieur im Bereich Forschung & Entwicklung und EMV-Spezialist und darüber hinaus Vice Chairman der Arbeitsgruppe OPEN Alliance TC9.



Dr.-Ing. Gunnar Armbricht

studierte an der Leibniz-Universität Hannover Elektrotechnik mit dem Schwerpunkt Nachrichten-/Hochfrequenztechnik und promovierte am Institut für Hochfrequenztechnik und Funksysteme auf dem Gebiet der Antennentechnik für Radaranwendungen in der industriellen Prozessmesstechnik. Bei Rosenberger leitet er den Bereich „Research Group Automotive“ und ist stellvertretender Leiter der Forschung & Entwicklung.

Vorteile differenzieller Datenübertragung, wie bereits in Bild 2 gezeigt, verdeutlicht. Während das Störsignal im Gleichtakt als schnelle Sinusschwingung deutlich erkennbar ist, bleibt das Datensignal aufgrund des sehr guten Modenkonzentrationsverhaltens der eingesetzten Komponenten im Link nahezu unbeeinflusst.

Mit Hilfe entsprechender Dekodierungs-Software im Messgerät bzw. durch Auswertung der aufgezeichneten Daten am PC ist eine Rückgewinnung der gesendeten PAM3-Symbole möglich, wodurch Jitter-Komponenten und Augenparameter sowie Latenzzeiten und Wake-up-Verhalten evaluiert werden können. Bild 7 zeigt beispielhaft das differenzielle Downlink-Signal in Form eines Augendiagramms.

Mit der DCDP wurde ein Messmittel für Automotive-Ethernet-Systeme sowohl nach 100BASE-T1 als auch nach 1000BASE-T1 geschaffen, durch das die bereits bekannten und spezifizierten Labormessungen an Übertragungska-

nälen und an einzelnen Link-Komponenten um die Möglichkeit der Messung am bereits im Fahrzeug installierten Kabelbaum ergänzt werden.

In der Verifizierungsphase einer Fahrzeugplattform besteht nun durch die DCDP die Möglichkeit, jede Bordnetztopologie sowie das gewählte Packaging individuell auf ihre Eignung für Automotive Ethernet zu prüfen. Durch die Möglichkeit, sowohl die Datensignale im Gegen- als auch etwaige EMV-Störungen im Gleichtaktsignal auf einem ungeschirmten Übertragungskanal getrennt voneinander zu analysieren, wird die Integration von Automotive-Ethernet-Systemen ins Fahrzeug unterstützt.

Rosenberger komplettiert durch die DCDP für Automotive Ethernet sein Portfolio zur Koexistenzanalyse im Kabelbaum, welches bisher Messkopppler für Hochvoltsysteme [1] und geschirmte LVDS-Datenverbindungen [2] umfasst. Dadurch sind nun umfangreiche, domänenübergreifende Verkopp-

lungsuntersuchungen im Fahrzeug möglich.

Die DCDP ist in Kürze als kommerzielles Produkt direkt bei Rosenberger erhältlich. Eine passende Software-Option zur direkten Auswertung der DCDP-Messwerte wird bei namhaften Oszilloskopherstellern demnächst verfügbar sein. *ku*

Literatur

- [1] Zietz, C.; Armbrrecht, G.; Schmid, T.; Wollitzer, M.; Geck, B.: A General Calibration Procedure for Measuring RF Voltages and Currents Applied to the EMC Analysis of Automotive High-Voltage Power Networks. In IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 57, No. 5, pp. 915–925, Oct. 2015
- [2] Schreiner, S.; Armbrrecht, G.; Kunz, S.; Schmid, T.; Wollitzer, M.: A broadband directional coupler for the signal integrity analysis on automotive high speed differential data links. In 2015 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC), pp. 650–655, 16-22 Aug. 2015

Rosenberger

Rosenberger
Hochfrequenztechnik GmbH & Co. KG
Hauptstraße 1
83413 Fridolfing
Germany

Tel. +49 8684 18-0
Fax +49 8684 18-1499
info@rosenberger.de
www.rosenberger.com