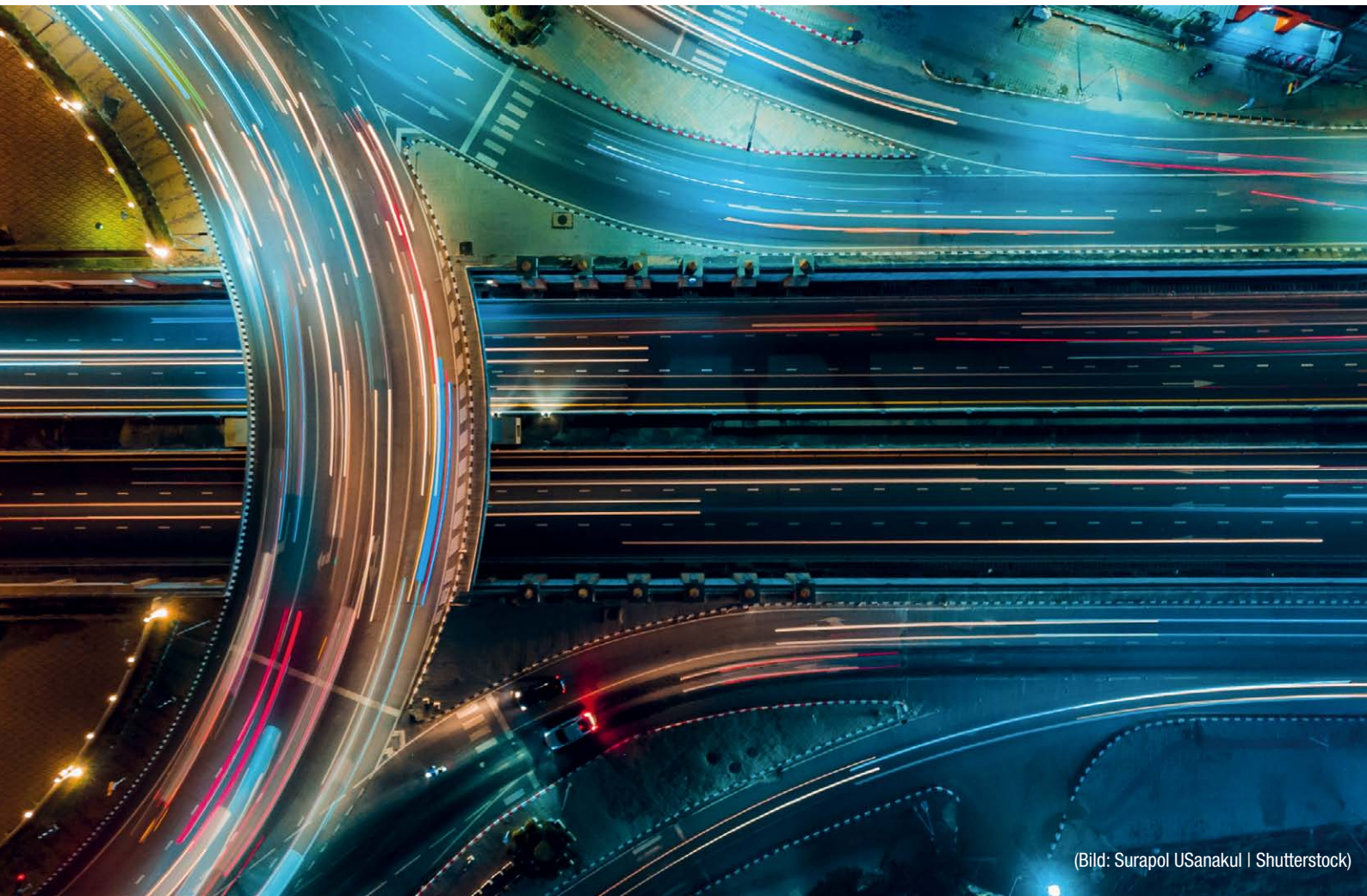


ENTWURF VON CAN-FD-NETZWERKEN

ROBUSTE KOMMUNIKATION



(Bild: Surapol USanakul | Shutterstock)

Aufgrund der steigenden Bandbreitenanforderungen in Automobil-Netzwerken ist im Jahr 2015 das CAN-FD-Protokoll eingeführt worden. Das Protokoll ermöglicht eine Datenübertragung mit Bitraten größer als 1 Mbit/s. Das Datenfeld eines CAN-FD-Frames ist bis 64 Byte lang. Der Artikel geht auf die Auslegung eines robusten CAN-FD-Netzwerks und auf die Faktoren, die das Netzwerkverhalten beeinflussen, ein.

Von Olga Fischer und Tony Adamson

Die ursprüngliche Anforderung der Automobilindustrie war das beschleunigte Herunterladen von Software am Ende der Fertigung und schnellere Software-Aktualisierungen in der Werkstatt. Zusätzlich haben die Autohersteller höhere Bandbreiten in den CAN-basierten fahrzeuginternen Netzwerken gebraucht. Nutzfahrzeug- und Bushersteller benötigen ebenfalls einen höheren Datendurchsatz in CAN-Netzwerken.

Das CAN-FD-Protokoll ist in ISO 11898-1:2015 genormt. Die Norm ISO 11898-2:2016 standardisiert die physikalische Übertragung. CAN-FD wurde im Jahr 2011 von Bosch vorgeschlagen und zusammen mit anderen CAN-Experten ausgearbeitet. Die Idee dahinter ist einfach. Während der Phase, in der nur ein Knoten im Netzwerk sendet, kann die Bitrate erhöht werden. Das ist in der Datenübertragungsphase eines CAN-FD-Frames der Fall. Hier kann der sendende Knoten seine Daten mit einer höheren Bitrate von bis zu mehreren Mbit/s übermitteln. Die Bitrate ist dabei nur durch die Transceiver-Eigenschaften limitiert, die in ISO 11898-2:2016 spezifiziert sind. Während der Arbitrierungsphase muss ein gesendetes Bit überschreibbar sein. Dabei ist es notwendig, dass alle Netzwerkteilnehmer den jeweiligen – eventuell geänderten Bitwert während der Bitlaufzeit richtig erfassen. Deshalb ist hier die Bitrate durch die Netztopologie auf 1 Mbit/s begrenzt. Wenn man beispielsweise ein Verhältnis der Bitraten in der Arbitrierungsphase und der Datenphase von 1:8 nutzt, ist der Datendurchsatz ungefähr sechsmal höher als bei einem klassischen CAN-Frame.

DAS ROBUSTE CAN-(FD-) NETZWERK

Die Migration vom klassischen CAN-Protokoll zum CAN-FD-Protokoll ist in vollem Gange. Europäische, US-amerikanische, chinesische, japanische und koreanische Firmen haben schon erste CAN-FD-Netzwerke im Fahrzeug oder sind kurz vor der Einführung. Aber auch andere Märkte, beispielsweise die Automatisierungsindustrie, sind an CAN-FD interessiert.

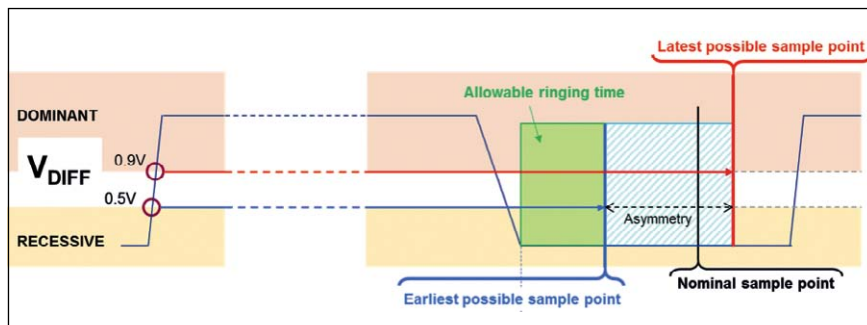


Bild 1. Berechnete Asymmetrien eines rezessiven Bit. (Bild: NXP)

Was definiert eigentlich ein gutes oder robustes CAN-Netzwerk-Design? In CAN-(FD-)Netzwerken werden zwei Signal-Pegel unterschieden. Der dominante Pegel ist durch eine Spannungsdifferenz – zwischen CAN-High und CAN-Low – über 0,9 V und der rezessive Pegel durch eine Spannungsdifferenz unter 0,5 V gekennzeichnet. Der Signalpegel wird einmal pro Bitlaufzeit abgetastet. Der Abtastzeitpunkt ist als prozentualer Wert der Bitlaufzeit definiert. Damit ein Netzwerk einwandfrei funktioniert, muss gewährleistet sein, dass während des Abtastzeitpunkts das Signal stabil (dominant oder rezessiv) ist. Dabei ist zu bedenken, dass die Abtastzeitpunkte von zwei Knoten, Sender und Empfänger, sich relativ zueinander verschieben können. Um nun ein stabiles Signal zum Abtastzeitpunkt zu erhalten, muss ausgerechnet werden, wann der früheste und der späteste Abtastzeitpunkt möglich ist, das heißt der Signalpegel muss in diesem Zeitabschnitt stabil sein.

Es gibt unterschiedliche Faktoren, die die Verschiebung der Abtastzeitpunkte beeinflussen:

→ Das Driften der Oszillatoren im Sender- und Empfänger-Knoten, wenn einer schneller als der andere läuft.

→ Die Asymmetrie des CAN-Transceivers, sprich der Unterschied zwischen der Zeitspanne für einen Dominant-zu-Rezessiv-Übergang und der Zeitspanne für einen Rezessiv-zu-Dominant-Übergang (**Bild 1**): Diese sind im Datenblatt des Transceivers spezifiziert. ISO 11898:2016 spezifiziert diese für die Bitraten von 2 Mbit/s und 5 Mbit/s.

→ Die Asymmetrien der Schnittstelle zwischen dem Mikrocontroller und dem CAN-Transceiver. Für Berechnungen müssen beide Pins, TxD und RxD, berücksichtigt werden. Hierbei sind 5 ns ein typischer Referenzwert.

→ Als letztes, spielt die ungünstigste Verzögerung des Zeitquantums eine Rolle.

Diese Faktoren addieren sich und sollen entsprechend dem ungünstigsten Bit-Muster berechnet werden. Die schlechtesten Bedingungen entstehen, wenn nach einer Synchronisation fünf gleichpolige Bits aufeinanderfolgen und das fünfte Bit abgetastet wird.

Die erwähnten Faktoren lassen sich für jede Bitrate berechnen. Zum Beispiel würde bei einer Bitrate von 2 Mbit/s mit einem Abtastzeitpunkt von 70 Prozent der nominale Abtastzeitpunkt bei 350 ns ($500 \text{ ns} \times 0,7$) liegen. Dabei ist es wichtig, eine zusätzliche Rechnung

CAN-FD ALS LEICHTGEWICHT

Die internationale Anwender- und Herstellervereinigung CAN in Automation (CiA) untersucht die Möglichkeit, ein vereinfachtes CAN-FD-Protokoll zu entwickeln, das sich kostengünstiger implementieren lässt. Dabei soll insbesondere auf Funktionen der Synchronisierung zwischen Knoten verzichtet werden. Das ist möglich, wenn man die Multimaster-Fähigkeit nicht nutzt. Dabei wird an Master-Slave-Anwendungen gedacht, wie sie beispielsweise in modularen LED-Scheinwerfern gebraucht werden. Ein entsprechender CiA-Arbeitskreis soll ein „abgespecktes“ CAN-FD-Protokoll spezifizieren. Andere mögliche Anwendungen sind modulare Klimaanlage und Sub-Netzwerke in anderen elektronischen Steuerungen.

für einen Sendeknoten, der sein Signal zurückliest, durchzuführen.

Aus den gesamten Berechnungen folgt, dass ein Abtastzeitpunkt sich auf 209 ns – um 28 Prozent früher als der nominale Abtastzeitpunkt – verschieben könnte. Der spätmöglichste Abtastzeitpunkt läge bei 401,1 ns. Um ein robustes Netzwerkverhalten zu haben, muss also das Signal schon viel früher während der Bitlaufzeit stabil sein. Das Verhalten des Signals vor dem frühestmöglichen Abtastzeitpunkt, also der zulässigen Zeit zum Abklingeln des Störsignals, hat keinen Einfluss auf die Funktion des Netzwerks.

TYPISCHE SIMULATION DER UNGÜNSTIGSTEN BEDINGUNGEN

Eine Netzwerksimulation ist notwendig, um zu beurteilen, ob ein CAN-(FD)-Netzwerk die oben erwähnten Kriterien sicher erfüllt. Dabei werden mögliche Signal-Kombinationen zwischen allen möglichen Kommunikationspaaren generiert und getestet. Knoten, die Fehler verursachen können, lassen sich so identifizieren.

Für gewöhnlich würde man eine Simulation durchführen, die alle ungünstigsten Parameter aus einem Datenblatt gleichzeitig einsetzt. Dabei wird nicht berücksichtigt, welche Kombination der Parameter zum gleichen Zeitpunkt realistisch wäre. Außerdem ist die Transceiver-Ausgangstreiber-Stabilität bezogen auf das Temperaturverhalten viel besser als die, die im Datenblatt angegeben ist.

Aus praktischen Erfahrungen empfiehlt NXP, einen typischen Parameter-Set im Simulationsmodell zu nutzen, der mit den realistischen Bedingungen übereinstimmt. Der Vorteil dieses Vorgehensweise ist nicht nur die Erhöhung der erreichbaren Netzwerklänge. Sie gestattet auch eine Ergebnis-Überprüfung auf dem Prüfstand (Bench-Testing). Wenn man keine Möglichkeit hat, eine Netzwerksimulation durchzuführen, können die Prüfstandversuch-Ergebnisse mit den typischen Parametern eine erste Aussage liefern, ob ein Netzwerk mit der geplanten Topologie zuverlässig funktioniert oder nicht.

WELCHE FAKTOREN BEEINFLUSSEN DIE ROBUSTE KOMMUNIKATION?

Einer der wichtigsten Faktoren, der die Signalstabilität eines CAN-FD-Netzwerks beeinflusst, ist das Klingeln oder das Überschwingen des Signals. Es entsteht an den Stellen, wo sich der Leitungswiderstand ändert, zum Beispiel an den Leitungsabzweigungen mit nicht abgeschlossenen Stichleitungen. In klassischen CAN-Netzwerken klingen die Störsignale vor dem möglichen Abtastzeitpunkt ab, weil die Bitzeiten dafür ausreichend lang sind. Da bei CAN-FD viel höhere Bitraten und somit kürzere Bitzeiten verwendet werden, ist auch die Zeit zum Abklingen eines Störsignals viel kürzer. Deshalb ist dieses Thema eines der kritischsten beim Design eines CAN-FD-Netzwerks.

In der momentanen Praxis wird meist eine lineare Topologie, wie Daisy Chain mit einer begrenzten Anzahl der Knoten und kurzen Stichleitungen genutzt. Das minimiert das Signalklingeln, hat aber mehrere Nachteile. Zum Beispiel werden dabei die Möglichkeiten der Kabelführung zwischen den Knoten eingeschränkt und somit die mögliche Kabellänge limitiert. Das Management der Netzwerk-Diversität wird problematisch, wenn mehrere Knoten optional sind. Das könnte dazu führen, dass mehrere oder komplexere Verdrahtungslösungen benötigt werden. Durch den Einsatz des vor kurzem spezifizierten CAN-SIC-Transceivers (Signal Improvement Circuitry, SIC) lassen sich viele dieser Probleme lösen. Diese sind in der Spezifikation CiA 601-4 (Version 2.0.0) definiert. Der Einsatz solcher Bausteine erlaubt, die komplexen CAN-FD-Netzwerk-Topologien mit höheren Bitraten zu nutzen.

VORTEILE DER CAN-SIGNAL-VERBESSERUNG

Bild 2 (A und B) zeigt zwei zu vergleichende Simulationsergebnisse eines Stern-Netzwerks mit vier Knoten, einem zentralen gesplitteten 60-Ω-Abschlusswiderstand und vier

unabgeschlossenen Stichleitungen (2 x 5 m und 2 x 0,75 m). Abschnitt A zeigt das Signal (blau) eines konventionellen High-Speed-CAN-Transceivers (HS-CAN) bei 2 Mbit/s. Die Überschneidung mit den roten Linien (Grenzen eines sicheren Arbeitsbereichs) verdeutlicht, dass diese Topologie mit HS-CAN-Transceivern nicht nutzbar wäre. Abschnitt B bildet den Signalverlauf eines CAN-SIC-Transceivers von NXP ab. Das Signalüberschwingen ist sogar bei dieser Topologie schnell abgeklungen, und das Netzwerk kann bei 2 Mbit/s sicher arbeiten.

Die Erfahrung zeigt, dass die Netzwerk-Topologien, die mit HS-CAN-Transceivern bei 500 kbit/s funktionieren, mit den CAN-SIC-Transceivern bei 2 Mbit/s und eventuell höher arbeiten – abhängig von der Topologie. Außerdem wurde festgestellt, dass die Netzwerke, die mit HS-CAN-Transceivern bei 2 Mbit/s funktionieren, mit den CAN-SIC-Transceivern bei 5 Mbit/s und eventuell höher (abhängig von der Topologie) arbeiten würden. Nun kann die Entwicklung der CAN-FD-Netzwerke mit 5 Mbit/s als eine realistische Option angesehen werden, denn bisher wurde diese Bitrate nur bei Punkt-zu-Punkt-Verbindungen genutzt.

GERINGERE ASYMMETRIE

Der zweite Vorteil der CAN-SIC-Transceiver ist das günstigere Asymmetrie-Verhalten. Bei der Asymmetrie-Berechnung (siehe oben) sind die meisten Faktoren konstant und hängen nicht von der Bitrate ab. Das heißt, dass bei höheren Bitraten die Asymmetrien einen größeren Bitzeit-Abschnitt abdecken und die Zeit für die möglichen Abtastzeitpunkte schrumpft. Dadurch ist die erreichbare Geschwindigkeit eines CAN-FD-Netzwerks begrenzt. Für Transceiver, die nach ISO 11898-2:2016 für 5 Mbit/s spezifiziert sind, ist die theoretische Grenze für das robuste Netzwerk-Verhalten bei etwa 6 Mbit/s erreicht. CAN-SIC-Transceiver bieten eine signifikante Verbesserung der Transceiver-Symmetriewerte. Der spätmöglichste Abtastzeitpunkt befindet sich nun viel weiter hinten in der

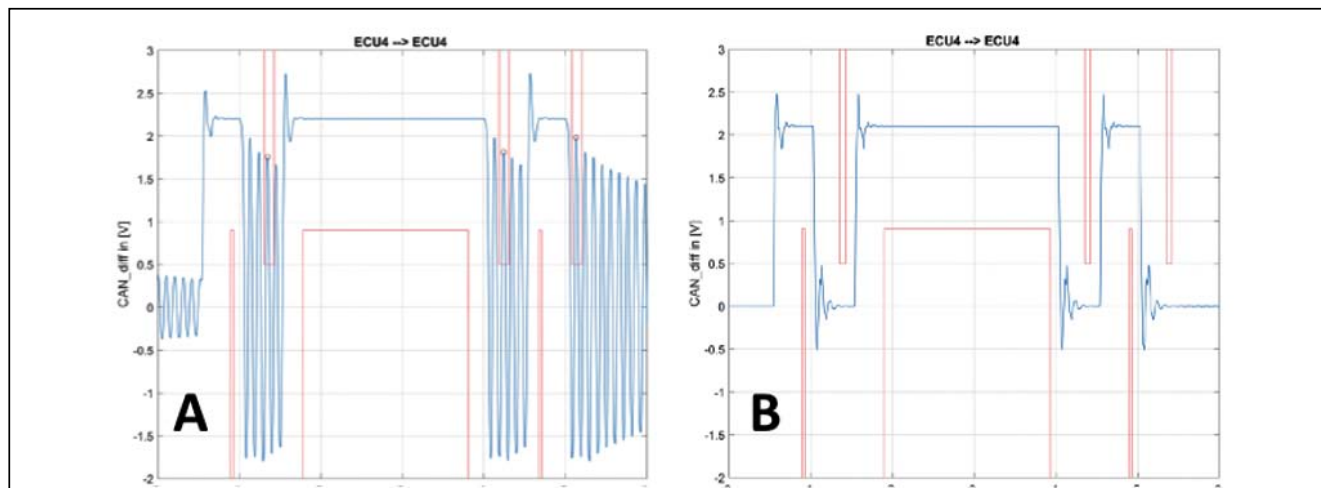


Bild 2. Vergleich des Signalverlaufs bei der Nutzung eines HS-CAN-Transceivers (A) und des CAN-SIC-Transceivers (B) von NXP. (Bild: NXP)

Bitzeit. Das ermöglicht die Nutzung von Bitraten von über 10 Mbit/s.

Nebenbei bemerkt, manche Hersteller von HS-CAN-Transceivern behaupten bereits in den Datenblättern, dass ihre Transceiver bei bis zu 8 Mbit/s arbeiten können. Der Nutzer sollte genau überprüfen, ob diese Bitrate bei allen möglichen Bedingungen eingehalten werden kann. Das trifft insbesondere auf den Temperaturbereich zu.

AUSWAHL DES ABTASTZEITPUNKTES

Im Vergleich zu einer langsameren Bitrate – bis 1 Mbit/s – sollte der Abtastzeitpunkt bei 2 Mbit/s später im Bit platziert werden, um die maximale Signal-Klingelzeit zu erlauben. Normalerweise liegt der Abtastzeitpunkt bei HS-CAN-Transceivern bei 70 Prozent, könnte aber sogar auf 80 Prozent verschoben werden. Das würde mehr Möglichkeiten für die Topologie-Auslegung bieten, auch bei der Nutzung der CAN-SIC-Transceiver.

Bei 5 Mbit/s würde jedes Signalklingeln über 0,5 V die Grenze des sicheren Arbeitsbereichs bereits überschreiten und ist somit komplett zu vermeiden. Deshalb ist es nicht mehr notwendig, den Abtastzeitpunkt auf später im Bit zu verlegen. Als Empfehlung ist der Abtastzeitpunkt bei etwa 55 Prozent der Bitzeit zu wählen.

Besonders bei höheren Bitraten von etwa 5 Mbit/s ist zu beachten, dass der zweite Abtastzeitpunkt mit dem nomi-

nalen Abtastzeitpunkt gleich gesetzt werden soll. Der falsch gesetzte zweite Abtastzeitpunkt ist nämlich die Ursache für ein latentes Problem, das beim Steuergeräte-Test meist nicht erkennbar ist und zum Lösen eine Experten-Unterstützung erfordert.

AUSWAHL DER KABEL

Die Spezifikation CiA 601-6 bietet eine Anleitung zum Entwerfen eines CAN-FD-Netzwerks. Angegeben ist, dass die Kabel-Impedanz zwischen 110 und 140 Ω liegen soll und dass eine Polyvinyl-Chlorid-basierte (PVC) Isolierung diese Anforderung nicht erfüllt. Diese Warnung ist gegeben, weil bei Verwendung derartiger Materialien der Kabelwiderstand mit steigender Temperatur stark abnimmt. Außerdem wird bei steigender Temperatur die Signalausbreitungsverzögerung höher.

Durch den Einsatz der CAN-SIC-Transceiver ließen sich manche Nachteile der „schlechteren“ Verkabelung kompensieren. Vorsicht ist aber geboten und die Simulation der ungünstigsten Bedingungen (siehe oben) würde wegen starker Temperaturabhängigkeit als eine sichere Verifizierung nicht ausreichen. Aufgrund der starken Unterschiede zwischen den PVC-Kabel-Varianten, ist es dringend empfohlen, das spezifische Widerstandsverhalten des einzusetzenden Kabels in dem möglichen Temperaturbereich zu überprüfen. Auf jeden Fall kann der Einsatz der CAN-SIC-Transceiver die mögliche

Netzverausdehnung erhöhen und die PVC-Kabel-Nutzung in relativ einfachen Netzwerken ermöglichen.

ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das CAN-FD-Netzwerk sollte robust ausgelegt werden. Dabei sollten bestimmte Faktoren, die das Netzwerkverhalten beeinflussen, wie das Klingeln, Topologie, Transceiver-Wahl oder Kabelführung beachtet werden. Auch die Festlegung der Abtastzeitpunkte spielt eine wichtige Rolle. Als Ergebnis stellte es sich heraus, dass die Nutzung von CAN-SIC-Transceivern erhebliche Vorteile in Bezug auf das Signal-Abklingeln, Bitrate, Netzwerk-Ausdehnung und Topologie-Auswahl mit sich bringt. ECK



OLGA FISCHER

ist Diplom-Ingenieurin (FH) und arbeitet seit ihrem Studium bei CAN in Automation (CiA). Sie betreut technische CiA-Arbeitskreise und ist auch Redakteurin des CAN-Newsletters.

TONY ADAMSON

studierte Software-Technik an der Universität in Sheffield. Seit mehr als 8 Jahren ist er bei NXP im Bereich Fahrzeugnetz tätig.