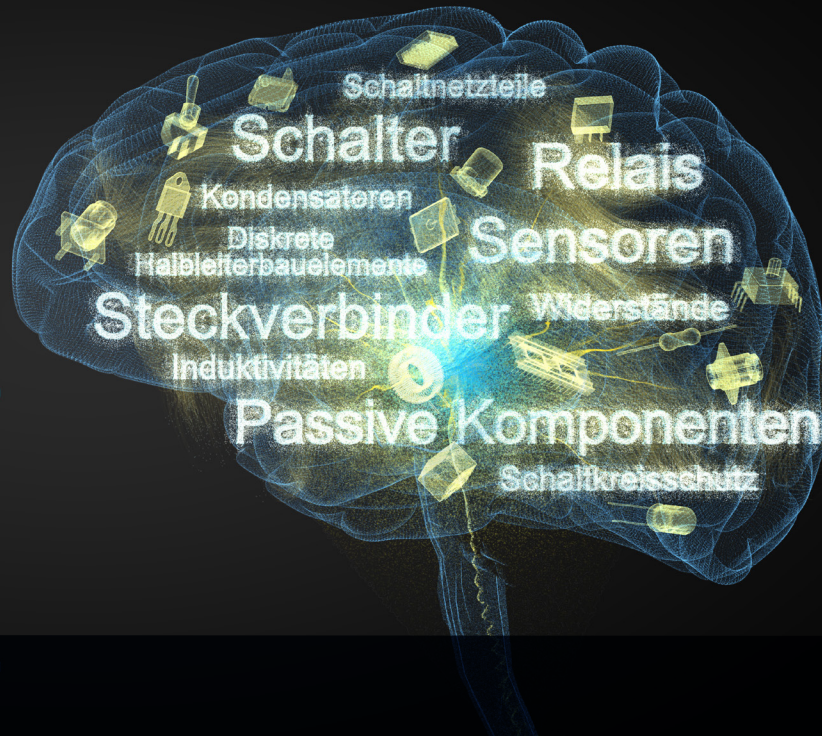




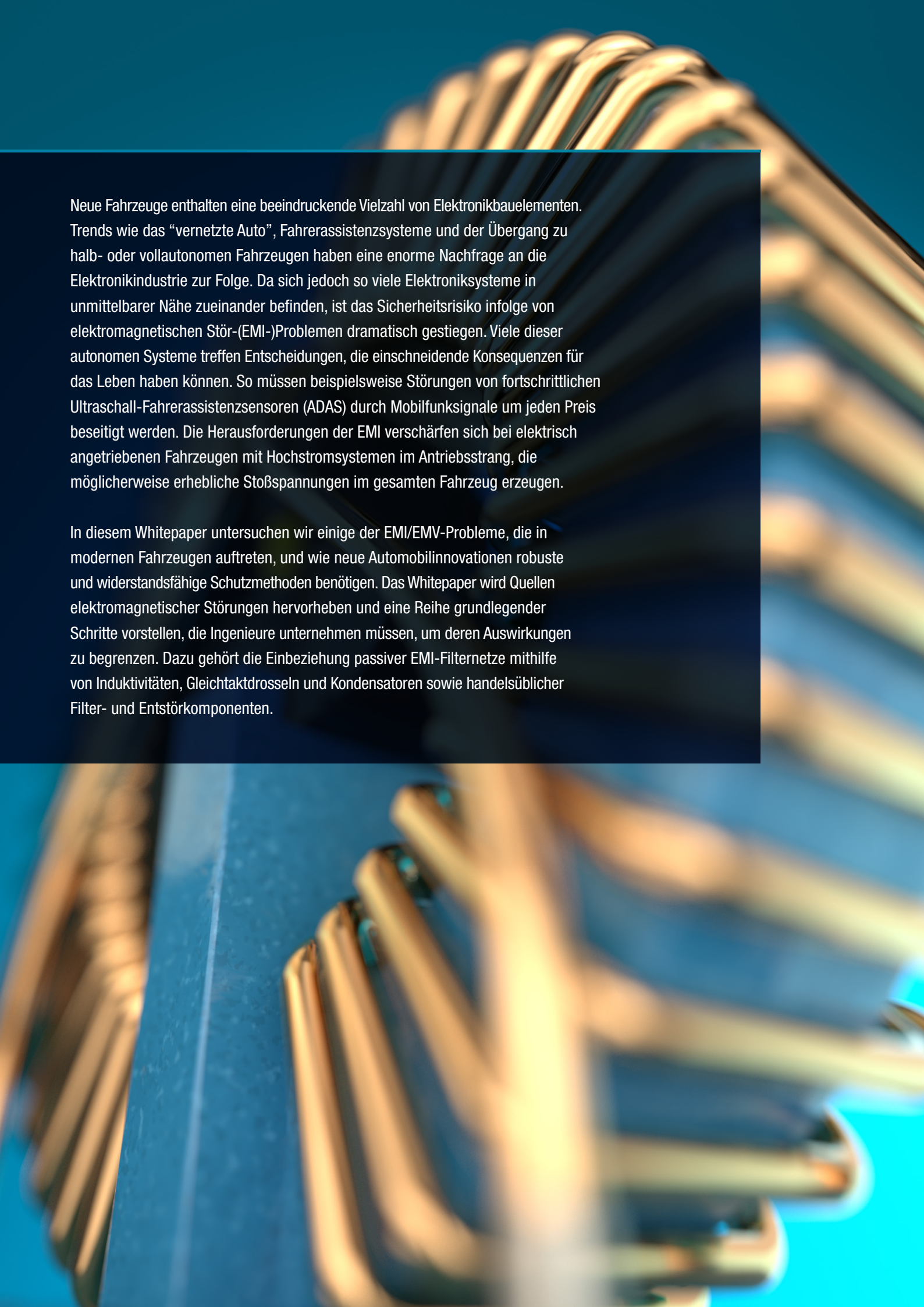
Whitepaper

Transport



EMV-Probleme im vernetzten Auto

Autor: Felix Corbett, Director Supplier Marketing, TTI Europe



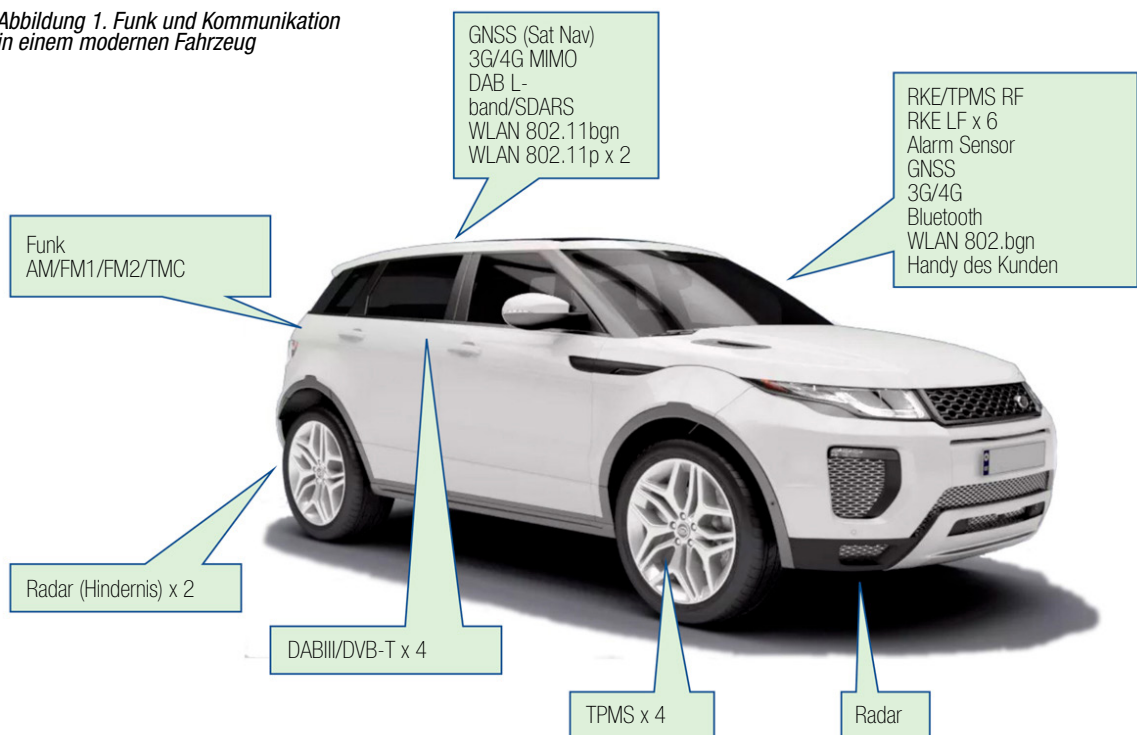
Neue Fahrzeuge enthalten eine beeindruckende Vielzahl von Elektronikbauelementen. Trends wie das "vernetzte Auto", Fahrerassistenzsysteme und der Übergang zu halb- oder vollautonomen Fahrzeugen haben eine enorme Nachfrage an die Elektronikindustrie zur Folge. Da sich jedoch so viele Elektroniksysteme in unmittelbarer Nähe zueinander befinden, ist das Sicherheitsrisiko infolge von elektromagnetischen Stör-(EMI-)Problemen dramatisch gestiegen. Viele dieser autonomen Systeme treffen Entscheidungen, die einschneidende Konsequenzen für das Leben haben können. So müssen beispielsweise Störungen von fortschrittlichen Ultraschall-Fahrerassistenzsensoren (ADAS) durch Mobilfunksignale um jeden Preis beseitigt werden. Die Herausforderungen der EMI verschärfen sich bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen mit Hochstromsystemen im Antriebsstrang, die möglicherweise erhebliche Stoßspannungen im gesamten Fahrzeug erzeugen.

In diesem Whitepaper untersuchen wir einige der EMI/EMV-Probleme, die in modernen Fahrzeugen auftreten, und wie neue Automobilinnovationen robuste und widerstandsfähige Schutzmethoden benötigen. Das Whitepaper wird Quellen elektromagnetischer Störungen hervorheben und eine Reihe grundlegender Schritte vorstellen, die Ingenieure unternehmen müssen, um deren Auswirkungen zu begrenzen. Dazu gehört die Einbeziehung passiver EMI-Filternetze mithilfe von Induktivitäten, Gleichtaktdrosseln und Kondensatoren sowie handelsüblicher Filter- und Entstörkomponenten.

Seit Automobile und die Elektronik parallel zueinander existieren, gibt es auch Kompatibilitätsprobleme. In den 70er Jahren konnte man ein vorbeifahrendes Fahrzeug mit einem defekten "Kondensator" erkennen, weil es den Mittelwellenempfang auf einem Motorola-Radio durch den nicht unterdrückten Trennschalter-Lichtbogen unterbrach. Heute sind Automobile der neuesten Generation mobile Rechenzentren mit weit mehr als hundert Prozessoren und 100 Millionen Codezeilen. Die Elektronik ist in jedem verfügbaren Raum untergebracht, von Außenspiegeln bis hin zum Dachhimmel mit einem Kilometer oder mehreren Kilometern Verbindungskabel. Ein Großteil des Fahrzeugs wird elektronisch gesteuert, von der trivialen Einstellung der "Stimmungsbeleuchtung" über wesentliche Funktionen wie Türschlösser bis hin zur kritischen Drive-by-Wire-Funktionalität, bei der Bremse, Gaspedal und sogar Lenkung nur digitalisierte Eingaben in einen Mikrocontroller sein können, der wiederum Motoren und Aktuatoren antreibt. Dabei werden Signale von externen Quellen für GPS-Ortung, Mobiltelefone, Reifendruck-Kontrollgeräte, Rundfunkunterhaltung und mehr empfangen. Die Daten werden zudem auch über Wi-Fi, Bluetooth an tragbare Mediengeräte, 3G/4G LTE für die Internetverbindung und Radar zur Kollisionsvermeidung übertragen. Abbildung 1. Zu den Zukunftsplänen gehört das "IoMT", das "Internet der sich bewegenden Dinge" (Internet of Moving Things), in dem Ihr Auto mit anderen Fahrzeugen über die Car-to-Car-Kommunikation (C2C) und mit straßenseitigen Ampeln und Anzeigetafeln über die Car-to-Infrastructure (C2I) "spricht", um einen Überblick über den Verkehrszustand und potenzielle Gefahren zu erhalten. C2C und C2I werden eine automobilspezifische Version von Wi-Fi, IEEE802.11p, verwenden. In Europa fällt dies alles unter den Begriff Cooperative Intelligent Transport Systems and Services (C-ITS)¹. In den USA unterbreitet die National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) Vorschläge für ein gleichwertiges Fahrzeug-zu-Fahrzeug-(V2V-) Kommunikationssystem.

Im Fahrzeuginneren werden die Daten mit einer ganzen Reihe von Bussen und Protokollen übertragen, teilweise mit sehr hohen Geschwindigkeiten. Der Bus kann ein CANO-Protokoll (Controller Area Network) für Routinefunktionen oder ein MOSTTM-(Media Oriented Systems Transport-)Protokoll für Multimedia und FlexRay™ für kritische Steuerungen wie Bremsen und Lenken sein. Zunehmend werden Ethernet-Verbindungen mit einem speziellen zweiadrigen ungeschirmten Kabel verwendet, was Gewichtseinsparungen bei der Verkabelung im Vergleich zu geschirmten mehradrigen Kabeln verspricht. Diese könnten in einem typischen modernen Auto 45 kg betragen, wenn Ethernet das "Backbone"-Kommunikationssystem wäre. Ungeschirmte Kabel führen zwar zu einer Kosten- und Gewichtsersparnis, erfordern aber eine sorgfältige Analyse hinsichtlich der EMI.

Abbildung 1. Funk und Kommunikation in einem modernen Fahrzeug



Betrachtungen des Elektrofahrzeugs

In herkömmlichen kraftstoffbetriebenen Fahrzeugen sind die Hauptquellen für EMI verhältnismäßig gering; die höchsten Ströme sind mit der Batterieentladung beim Anlassen verbunden. Während dieser Zeit kann die empfindliche Elektronik deaktiviert oder in den Ruhezustand versetzt werden. Mit Elektrofahrzeugen wird die Welt der leistungsstarken Elektromotoren und ihrer Antriebe mit den damit verbundenen EMV-Herausforderungen eingeführt. Ein Gleichstrombus aus der Batterie wird hochfrequent geschaltet, um variable Wechselspannung für die Motoren für die Traction zu erzeugen, und weitere Schaltwandler konvertieren den Bus auf 12 oder 24 V für Zusatzgeräte sowie für die restliche Elektronik im Auto herunter. Abbildung 2. Der DC-Schaltvorgang wird typischerweise von IGBTs mit relativ niedriger Frequenz durchgeführt, um den Wirkungsgrad aufrechtzuerhalten, aber es werden Geräte mit neuerer Technologie eingeführt, wie beispielsweise Siliziumkarbid-(SiC-) Schalter, die bei viel höheren Frequenzen mit guten Wirkungsgraden arbeiten können. Dies führt dazu, dass die Größe anderer passiver Komponenten wie der Magnetik und der Kondensatoren erheblich verringert wird, was wiederum Kosten und Gewicht reduziert. Nachteilig ist EMI bei höheren Pegeln und höheren Frequenzen, die indes nicht dem Stromrichter selbst entstammen; die Batterien, Kabel und Motoren fungieren alle bis zu einem gewissen Grad als Antennen mit teilweise unerwarteten Eigenschaften: Die Impedanz der Batterien bei DC könnte beispielsweise bei einigen Milliohm Impedanz liegen, hingegen aber bei 10 Ohm bei 100 kHz, in welchen Bereich Stromrichter oft arbeiten².

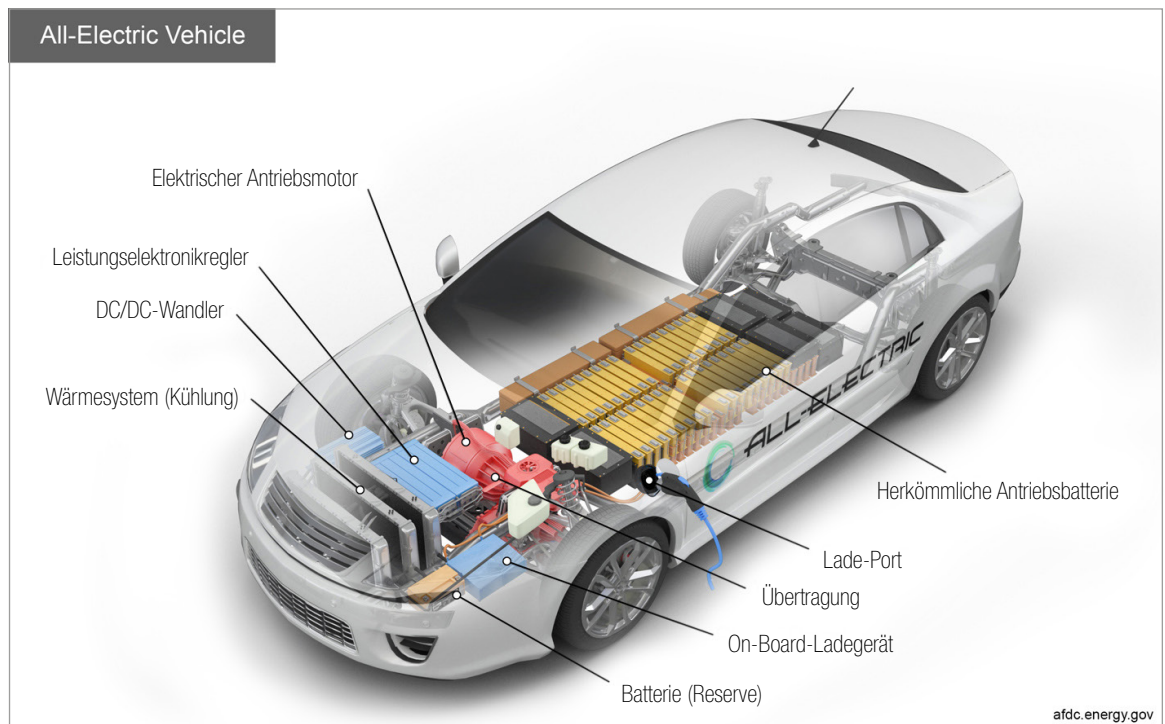


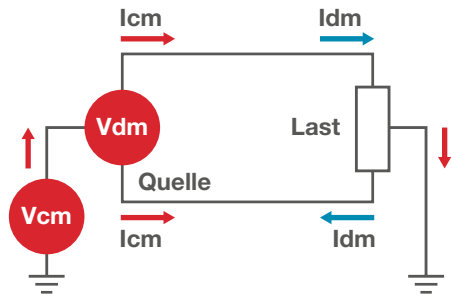
Figure 2: Powertrain in an electric vehicle (source – USDoE)

Folgen von EMI

Es ist klar, dass es viele Fahrzeugsysteme gibt, die elektrische Störungen sowohl von internen als auch von externen Quellen erzeugen und anfällig dafür sein können. Es wurden Vorfälle von Airbags gemeldet, die durch HF-Übertragungen von Rettungsfahrzeugen sowie von Tempomat- und Motormanagementsystemen ausgelöst wurden, die bei Einwirkung von EMI³ eine "weit geöffnete Drosselklappe" forderten. In einem anderen Beispiel wird berichtet, dass "das Halten bestimmter Arten von Mobiltelefonen in der Nähe des Lenkrads die Schaltung auslöst, die den Sprengstoff, der den Airbag entfaltet, mit HF-Feldern bei etwa 1,8 GHz und weit über 100 V/m entzündet, während EMV-Tests im Automobilbereich nur bis zu 1 GHz und 24 V/m erforderlich sind"³. Die Störung könnte unbeabsichtigt oder sogar absichtlich sein, wobei Sicherheitsforscher bereits nachgewiesen haben, dass die bekanntesten Elektroautos "gehackt" werden könnten, um kritische Systeme wie Bremsen aus der Ferne zu manipulieren⁴. Diese Schwachstelle wurde sofort behoben, aber das Potenzial für katastrophale Folgen ist für die Hersteller ein großes Problem. Sicher ist jedoch, dass es viel Spielraum für "lästige" Ereignisse gibt, wie z.B. ein Zurücksetzen der Informationsanzeige oder eine verringerte Qualität und Zuverlässigkeit der Kommunikation.

EMI-Kategorien

Abbildung 3. Gleichtakt- und Gegentakt-Rauschströme



EMI ist in verschiedene Kategorien unterteilt: leitungsgeführte und abgestrahlte Emissionen sowie leitungsgeführte und abgestrahlte Störfestigkeit. Die Anfälligkeit für elektrostatische Entladung (ESD) ist ebenfalls enthalten, auch wenn es sich nicht um einen elektromagnetischen Effekt handelt. Die Emissionen des Fahrzeugs müssen für ihre Auswirkungen auf die internen Systeme, auf andere Fahrzeuge und die Umwelt im Allgemeinen berücksichtigt werden. Ebenso kann leitungsgeführte EMI sowohl von außen über Ladestationen als auch von internen Systemen kommen. Abgestrahlte EMI kann auch den fahrzeugeigenen Kommunikationssystemen sowie extern anderen Verkehrsteilnehmern oder Hochleistungsquellen wie beispielsweise Rundfunksendern entstammen.

Leitungsgeführte Störungen in Form von Fremdkommunikationssignalen oder Rauschen werden weiter in "Common Mode" (CM, Gleichtakt) und "Differential Mode" (DM, Gegentakt) unterteilt. DM-Interferenz ist eine Interferenz zwischen Verbindungen und dem vorgesehenen Stromrücklaufpfad. CM-Interferenzen treten bei elektrischen Verbindungen in Bezug auf die lokale Masse oder das Gehäuse auf und können schwer zu erkennen und zu steuern sein. Abbildung 3. Der Übergang zu verstärkten Kunststoff- und Kohlefaserpanelen in Autos bedeutet, dass das Metallgehäuse nicht unbedingt als abschirmender "Käfig" oder gar als niederohmige Gesamterde angesehen werden kann. Tatsächliche Strompfade für Erdrückströme sind sorgfältig zu berücksichtigen, um die Entstehung von CM-Störungen zu vermeiden.

Standards

Es gibt spezifische Normen, die das Niveau der EMI-Emissionen und der Störfestigkeit für Fahrzeuge sowie die Prüfverfahren festlegen. Dazu zählen ISO (International Standards Organisation), CISPR (International Special Committee on Radio Interference) und SAE in den USA mit vielen Querverweisen untereinander und zu anderen etablierten Normen wie der IEC 61000-Serie.

Die Standards ISO 11451-xx beziehen sich auf Fahrzeuge, ISO 1142-xx und ISO 7637-xx auf Komponenten. Ebenso beziehen sich die US SAE J551-xx auf Fahrzeuge und die SAE J1113-xx auf Komponenten. CISPR 12⁴ legt Grenzwerte und Prüfverfahren für abgestrahlte EMV-Einflüsse auf Kommunikationseinrichtungen außerhalb des Fahrzeugs fest, während sich CISPR 25⁵ auf fahrzeugeitige Empfänger bezieht und die Prüfung von Komponenten innerhalb der Fahrzeuge separat sowie die Empfindlichkeit für das gesamte Fahrzeug vorschreibt. Obwohl CISPR 12 von Regulierungsbehörden verwendet wird, wird CISPR 25 eher als technischer Standard von Fahrzeugherstellern verwendet. Die Normen waren ursprünglich speziell für Verbrennungsmotoren gedacht, werden aber in der Regel durch Hinweise auf Elektrofahrzeuge aktualisiert.

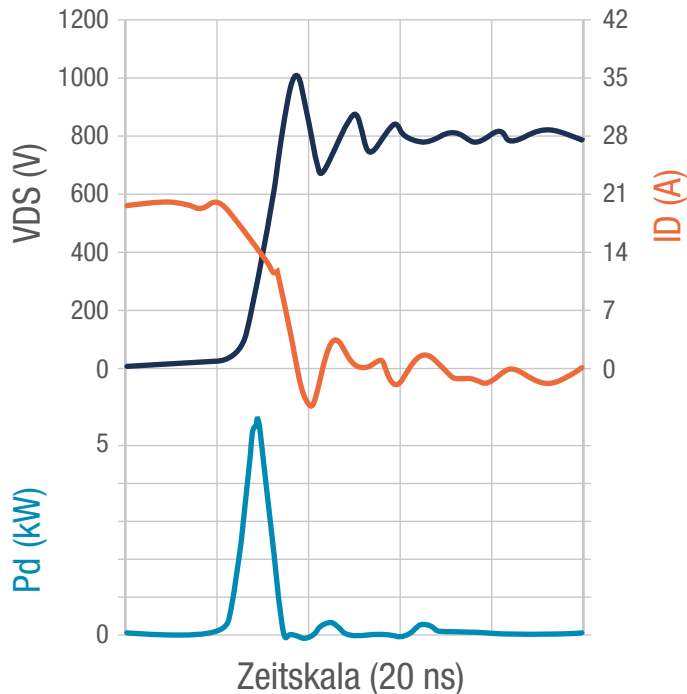
Die Fahrzeughersteller haben jedoch oft ihre eigenen internen Standards mit strengeren Anforderungen, wie z.B. Ford CS2009, Chrysler-Fiat CS-11979 oder Nissan NDS02.

EMI-Minderung an der Quelle

Alle Fahrzeughersteller versuchen, eine gute EMV-Leistung zu entwickeln, und es stehen leistungsfähige Multiphysik-Simulationswerkzeuge zur Verfügung, um diese Leistung vorherzusagen. In der Praxis müssen Verbindungen, Erdung und Abschirmung nicht nur gute Emissions- und Empfindlichkeitsleistungen von Komponenten und Modulen vorschreiben, sondern auch bewährte Verfahren befolgen – allerdings stets in dem Bewusstsein, dass Kompromisse erforderlich sein können, insbesondere wenn Kosten und Gewicht mitberücksichtigt werden. Bei Elektrofahrzeugen ist das Problem bei den hohen Strömen besonders akut. Es mag naheliegend erscheinen, das Metallgehäuse als Gegenstück zu verwenden; dies wäre billiger und leichter als ein spezielles Kabel, jedoch aus EMV-Sicht fast mit Sicherheit schlechter.

Bei Schaltstromrichtern können die Kantenfrequenzen gesteuert werden, um das Spektrum der gewählten Emissionen und Topologien zu minimieren, die natürlich geringere Emissionen aufweisen, ohne den Wirkungsgrad zu beeinträchtigen. Neueste Techniken der "resonanten Konversion" werden auf Kosten einer gewissen Komplexität bevorzugt, obwohl bei einem "ganzheitlichen" Ansatz alle zusätzlichen Kosten durch Einsparungen bei der Filterung an anderer Stelle ausgeglichen werden können.

Abbildung 4. Die Kantenfrequenzen von Leistungswandlern können im Nanosekundenbereich liegen



Filter für langsame Datenflanken können bereitgestellt werden, während für minimale Strahlung und Abtastung eine symmetrische paarweise Datenverkabelung Verwendung findet. Bildschirme sind ein zweischneidiges Schwert – sie schützen Signale effektiv, können aber auch unerwünschte Rückwege für Leistungs- oder andere Signale bereitstellen, wenn sie nicht sorgfältig abgeschlossen werden. Glasfaseroptik ist eine ideale, aber teure Lösung und wird in einigen MOST-Installationen eingesetzt.

Differential- und Gleichtaktdrosseln in Signal- und Starkstromleitungen können vorteilhaft sein, müssen aber mit Kondensatoren kombiniert werden, um Störungen zu beseitigen – wenn die EMV gerade mit der hohen Impedanz eines Induktionsfilters blockiert wird, erzeugt sie eine Spannung, die dann an anderer Stelle als Störung gekoppelt werden kann. Filter können auch interagieren und so unerwünschte Resonanzen und Spannungsspitzen erzeugen, weshalb sie sorgfältig mit entsprechender Dämpfung und kontrollierten Ein-/Ausgangs impedanzen ausgelegt werden müssen.

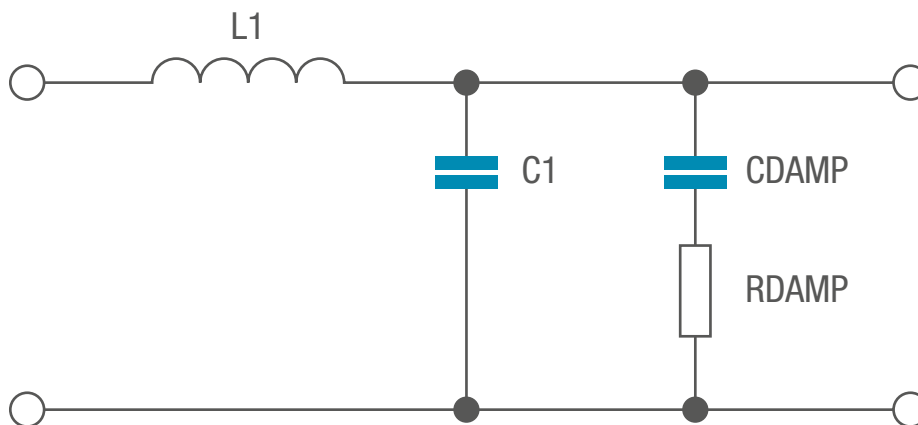


Abbildung 5. Filter können eine Dämpfung benötigen, um Instabilitäten zu vermeiden

Transientenbegrenzer haben ihren Platz auch in Form von Varistoren, Klemm-Zenerdioden oder einfachen Dioden an analogen oder digitalen Eingängen, um die Signale maximal auf die Schienenspannungen zu klemmen. Varistoren sind kostengünstig, haben aber einen Verschleißmechanismus bei Belastung, so dass man sich nicht darauf verlassen kann, dass die Leistung über lange Zeiträume erhalten bleibt. Einzelne Systemmodule, die zu einem Fahrzeug zusammengefügt werden, werden einzeln auf ihre EMV-Eigenschaften hin bewertet, ergeben aber mit realitätsnahen Ein- und Ausgängen eine ganz andere Leistung – hier kommt es auf die Prüfung des Gesamtfahrzeugs an.

Da es jedoch eine nahezu unendliche Anzahl von Permutationen von Interferenzarten, -pegeln und -effekten gibt, wird ein pragmatischer Ansatz verfolgt, um das Schlimmste zu bestimmen, was mit Hilfe der FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) passieren kann, und um die Auswirkungen mit einer Hierarchie von ausfallsicheren Mechanismen zu mildern. In dem bereits erwähnten Fall der "weit geöffneten Drosselklappe" könnte beispielsweise das entsprechende Stellglied entkoppelt und dann der Kraftstoff zum Motor abgeschaltet werden, wenn keine Reaktion erfolgt. Alle kritischen Kommunikationen haben standardmäßig eine Fehlerkorrektur.

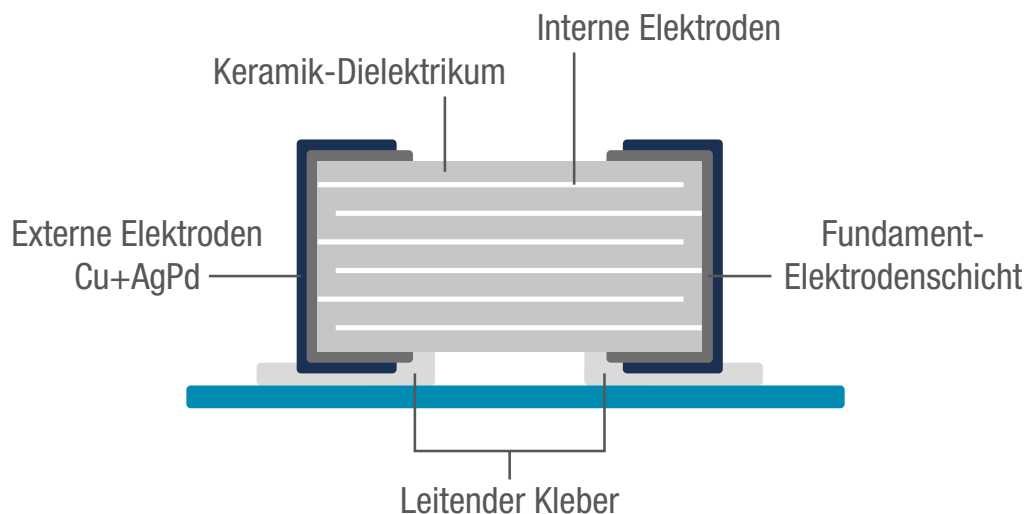
Entstörkomponenten

Ein Ausgangspunkt für Entstörkomponenten ist, dass sie nach dem entsprechenden AEC-Q-Standard qualifiziert sein sollten, typischerweise AEC-Q200 für die Belastungsbeständigkeit passiver Komponenten. Die Norm teilt die Komponenten je nach Verwendungszweck in fünf Qualitäten auf. Die Klasse 0 ist die strengste und erfordert Prüfungen von -50 bis +150°C. Komponenten auf dieser Ebene können in jeder Automobilanwendung eingesetzt werden, unabhängig von der Platzierung im Fahrzeug. Teile der Klasse 1 sind für die meisten Anwendungen unter der Motorhaube geeignet und werden von -40 bis +125°C getestet. Teile der Klasse 2 werden noch weniger streng getestet und eignen sich für den Einsatz an Hot Spots in den Fahrgasträumen, Klasse 3 ist für den Einsatz in den Fahrgastbereichen, und das reicht bis hinunter zur Klasse 4, die für nicht-automotive Teile gilt.

Komponenten für Automobilanwendungen werden nicht nur für die rauen Temperaturen, sondern auch für Temperaturschocks und hohe Vibrationen ausgelegt. Techniken zum "Schutz" von Bauteilanschlüssen gegen mechanische Beanspruchung umfassen "weiche" Elektroden oder sogar leitfähigen Klebstoff, zum Beispiel bei den Mehrschichtkondensatoren der Murata GCJ-, GCG- und GCB-Familie⁷. Hochzuverlässige Typen können auch eine spezielle "Serienkonstruktion" aufweisen, so dass ein interner Elektrodenkurzschluss aufgrund von Spannungen nur die Kapazität reduziert und nicht zu einem totalen End-to-End-Kurzschluss führt.

Induktivitäten können die gleichen Schutzmechanismen für die Automobilumgebung aufweisen; oft basieren Oberflächeninduktivitäten und Doppelwickel-/Gleichtaktinduktoren auf keramischer Kerntechnologie für Stabilität und Hochtemperaturleistung, wie sie von Bourns⁸ und TDK Electronics⁹ stammen. Transienten- und ESD-Schutzgeräte sind auch mit AEC-Q200-Qualifizierung von Lieferanten wie Vishay¹⁰ erhältlich.

Abbildung 6. Beispiel eines leitenden Klebeanschlusses für oberflächenmontierbare Automotive-Bauelemente



Zusammenfassung

Die Entwicklung zur Einhaltung der Automotive-EMV-Normen beginnt mit Systemüberlegungen, dem Design für minimale EMV und Empfindlichkeit, der Simulation und der sorgfältigen Analyse des gesamten Fahrzeugs. Es gibt jedoch ein ganzes Arsenal von Entstör- und Filterkomponenten, die verwendet werden können, um die Interoperabilität zwischen dem riesigen Spektrum von Hoch- und Niederfrequenz-Steuerungs- und Kommunikationssystemen in einem modernen Auto zu gewährleisten.

¹ <https://www.car-2-car.org>

² S. Guttowski, S. Weber, E. Hoene, W. John, H. Reichl - EMV in Electric Vehicles Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration

³ Radiocommunications Agency EMC awareness - <http://www.emca.org/awareness/Pages/InterferenceExamples/Automotive.htm#MobileTrans>

⁴ <https://www.bbc.co.uk/news/technology-37426442>

⁵ CISPR 12:2007 Vehicles, boats and internal combustion engines - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement for the protection of off-board receivers

⁶ CISPR 25:2016 Vehicles, boats and internal combustion engines - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers

⁷ https://www.murata.com/en-eu/apps/auto?intcid5=com_xxx_xxx_cmn_bc_xxx

⁸ <https://www.bourns.com/products/magnetic-products/power-inductors-aec-q200-compliant>

⁹ <https://en.tdk-electronics.tdk.com/tdk-en/1419046/products/application-guides/automotive---epcos-brand/convenience/rear-camera-systems/inductors>

¹⁰ http://www.vishay.com/applications/automotive/48v_dcdcconverter/



Über TTI

TTI Inc. ist der weltweit führende Spezialist für Passive und elektromechanische Bauelemente, Steckverbinder sowie Diskrete Halbleiter, Schaltnetzteile und Sensoren. Ausgewählte Lieferanten sowie unterschiedlichste Logistik-Lösungen unterstützen Kunden in den Marktsegmenten Industrie, Transportation, Luft-, Wehr-, und Raumfahrttechnik sowie in der Haushalts- und Unterhaltungselektronik.

Die Produktpalette von TTI umfasst Bauteile wie Widerstände, Kondensatoren, Steckverbinder, Diskrete Halbleiter, Opto Elektronische Bauelemente, Elektromagnetische Bauelemente sowie Bauteile für den Schaltkreisschutz. Das Angebot umfasst außerdem Kabel und Drähte – diese auch konfektioniert; Netzteile, Entwicklungskits, Sensoren und Elektromechanische Bauelemente.

Übersichten und Informationen zur Marktentwicklung und Technologie sowie Updates etc. stellt TTI über das MarketEye Research Center zur Verfügung. Kunden können hier Fachbeiträge, technische Seminare, RoHS, allgemeine Seminare, Industrieforschungsberichte und vieles mehr abrufen.

Die TTI Produktpalette, kundenorientierter Service sowie die angebotenen Logistiklösungen machen TTI zum bevorzugten Distributor (CMP Publications). Weltweit beschäftigt TTI über 5600 Mitarbeiter an mehr als 100 Standorten in Europa, Amerika und Asien.

Europäischer Hauptsitz:

TTI, Inc.
Ganghoferstr. 34
82216 Maisach-Gernlinden
Deutschland
Tel.: +49 (0)8142 6680 – 0
Fax: +49 (0)8142 6680 – 490
Email: sales@de.ttiinc.com
www.ttieurope.com

Copyright © TTI, Inc. All Rights Reserved.