

ESD-Schutz für High-Speed-Video-Links im Automobil

Lösungen für die Herausforderung, High-Speed-Video-Links vor elektrostatischen Entladungen zu schützen, ohne die Signalintegrität zu beeinträchtigen

 Dr.-Ing. Andreas Hardock, Applikationsmarketingmanager für ESD und EMV, Nexperia

 Lukas Droemer, Produktmanager für ESD und EMV, Nexperia

Autonomes Fahren ist einer der großen Trends, die die Zukunft der Automobilindustrie verändern werden. Dessen erfolgreiche Einführung hängt von der Überwindung von Barrieren ab, wie z. B. dem Bedürfnis nach mehr Sicherheit und Informationen für den Fahrer und die Fahrgäste. Dies wiederum treibt die Entwicklung von ADAS- (Advanced Driver Assist Systems) und Sicherheits-/Infotainment-Anwendungen für den Einsatz in zukünftigen autonomen Fahrzeugen voran.

Durch diesen Trend vervielfacht sich die Anzahl der Kameras und Displays am und im Auto rasant. Video-Links bieten zwar ausreichende Datenraten (bis zu 16 Gbit/s), um qualitativ hochwertige Inhalte zu übertragen, allerdings sind Fahrzeuge eine raue Umgebung für diese sensiblen Schnittstellen. Die PHY- (physical layer, Bitübertragungsschicht) Technologie für solche hochentwickelten Verbindungen erfordert einen externen Schutz gegen elektrostatische Entladungen (ESD, electrostatic discharge), der mit den EMV-Anforderungen (EMC, electromagnetic compatibility) konform sein muss. Für den ESD-Schutz ergeben sich daraus neue Herausforderungen. Einerseits sollte das ESD-Schutzbauteil die Schaltung gegen hohe ESD-Spannungen schützen. Andererseits sollte es während des Normalbetriebs möglichst "unbemerkbar" sein, d. h. die Signalintegrität nicht nennenswert beeinträchtigen. Neben der Gehäusebauform und dem Leiterbahn-Routing ist hauptsächlich die Kapazität des ESD-Schutzbauteils ein entscheidender Einflussfaktor für die Signalintegrität. Angesichts immer weiter steigender Datenraten werden Schutzbauteile mit immer kleinerer Kapazität benötigt.

In diesem Beitrag wird der Einfluss des ESD-Schutzbauteils auf die Signalintegrität im Vergleich zu anderen Verbindungskomponenten wie Kabel, Steckverbinder und Leiterplatte in einem differentiellen Video-Link diskutiert. Zu diesem Zweck wird die gesamte Verbindung von Rx bis Tx mittels S-Parametern in ASD simuliert.

Video Links

Video Links oder Serializer/Deserializer (SerDes) sind Oberbegriffe für Bausteine oder Funktionsblöcke mit einer seriellen Schnittstelle zur Übertragung von Daten, die aus einem parallelen Datenstrom stammen. Diese Schnittstellen

sind für hohe Bandbreiten und Punkt-zu-Punkt-Verbindungen ausgelegt, wobei die Latenz normalerweise nicht kritisch ist. Die Schnittstellen arbeiten unidirektional oder bidirektional, wobei im bidirektionalen Fall die Bandbreite in einer Richtung meistens deutlich höher als in der anderen ist. Die physikalische Implementierung des seriellen Datenstroms kann differenziell sein, unter Verwendung von LVDS (Low Voltage Differential Signaling), oder unsymmetrisch (single-ended), unter Verwendung eines Koaxialkabels. (Optische Verbindungen sind ebenfalls möglich, sind aber nicht Standard und werden deshalb hier nicht behandelt). Weiterhin werden Single-Ended-Video-Link-Schnittstellen manchmal auch zur Stromversorgung eines Steuergeräts genutzt. Für koaxiale Single-Ended-Verbindungen wird diese Technik Power-over-Coax (PoC) genannt, ähnlich wie Power-over-Data-Line (PoDL) oder Power-over-Ethernet (PoE).

Video-Link-Schnittstellen werden hauptsächlich zur Übertragung von Videodaten verwendet. Die häufigsten Anwendungen im Infotainment sind: Verbindung von Displays, Karosserie- und Komfortanwendungen wie Einparkkameras und Kameras für ADAS-Anwendungen. Besonders für Kameras ist die PoC-Funktionalität sehr attraktiv. In der modernen Zonen-Architektur sind Video-Link-Schnittstellen die adäquate Punkt-zu-Punkt-Übertragungslösung für hochauflösende Sensordaten. Obwohl eine Initiative zur Standardisierung von Video-Link-Schnittstellen für Automobilanwendungen läuft, ist derzeit noch kein gemeinsamer Standard verfügbar. Daher sind im Automobilbereich proprietäre Lösungen üblich, wie die folgenden Beispiele zeigen.

APIX – Automotive Pixel Link

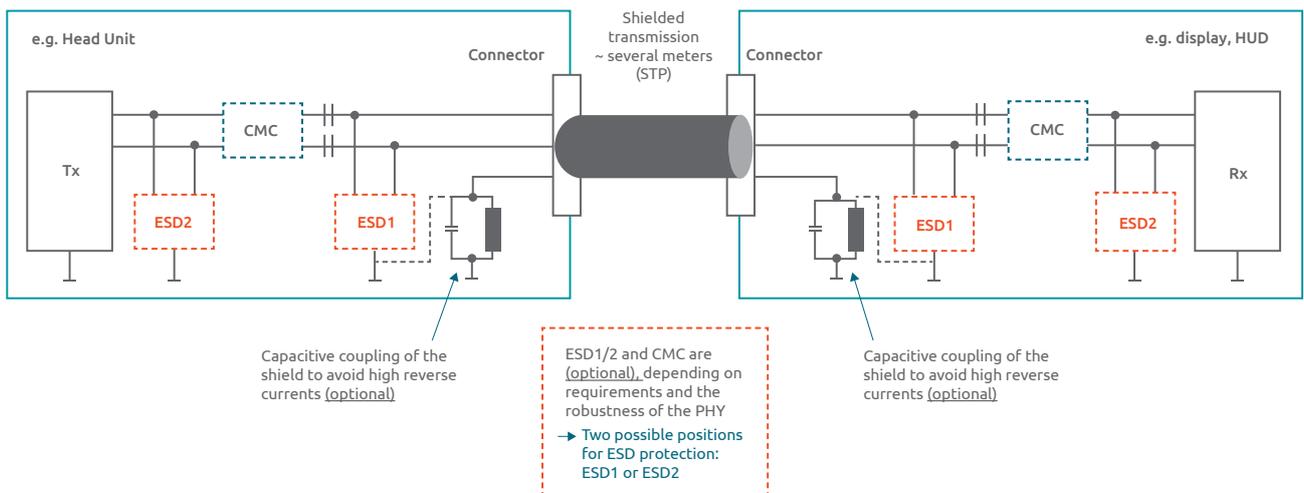
Automotive Pixel Link (APIX) wurde von Inova Semiconductors entwickelt und im Jahr 2008 von Fujitsu lizenziert. Diese Technologie eignet sich für die Übertragung digitaler Videosignale über Entfernungen von bis zu 15 m. Die dritte Generation von APIX3 ist seit 2016 verfügbar und unterstützt Datenraten bis 6 Gbit/s.

GMSL – Gigabit Multimedia Serial Link

GMSL ist eine proprietäre SerDes-Schnittstelle von Maxim Integrated, die hauptsächlich für Kameraanwendungen genutzt wird. Die dritte Generation unterstützt Datenraten bis über 10 Gbit/s und bei Bedarf auch PoC.

FPD-Link – Flat Panel Display Link

FPD-Link wurde ursprünglich für Displays entwickelt, wird aber auch häufig zum Anschluss von Kameras an ADAS-Recheneinheiten verwendet. Heute ist FPD-Link im Besitz von TI und sehr beliebt für ADAS-Anwendungen im Automobil. FPD-Link III unterstützt Datenraten von bis zu 13,3 Gbit/s und bidirektionale Kommunikation auf einem einzigen Link. In einer Single-Ended-Variante unterstützt FPD-Link III die Verwendung von Koaxialkabel und PoC.



aaa-033481

Abbildung 1: Schaltbild einer differenziellen Video-Link-Verbindung einschließlich Transceiver und Empfänger.

ESD-Anforderungen an Video Links

Die Anforderungen an externen ESD-Schutz sind für alle oben erwähnten Video-Link-Schnittstellen gleich. Wie bereits erwähnt, gibt es zwei Hauptaspekte, auf die man sich bei der Auswahl des passenden ESD-Schutzbauteils konzentrieren sollte: ESD (Schutz vor elektrostatischen Entladungen) und SI (Signalintegrität). Beide werden wir im folgenden diskutieren.

Für einen robusten ESD-Schutz bis zu 10 kV oder mehr unter realen Einsatzbedingungen benötigt man modernste Schutztechnik – wie z. B. einen Thyristor (SCR, silicon-controlled rectifier) oder einen Transistor mit offener Basis. Wie in Abbildung 1 dargestellt, gibt es zwei mögliche Positionen für ein ESD-Schutzbauteil: ESD1 und ESD2. Für eine optimale ESD-Schutzwirkung wird man die Position ESD1 wählen, die den ESD-Impuls direkt am Steckverbinder "abwürgt", weit entfernt von dem empfindlichen PHY und der Schaltung. Video-Links für Automobilanwendungen werden üblicherweise auch auf 'Kurzschluss nach Batterie' getestet. In diesem Fall sollte die ESD1-Position bestückt werden;

hierfür wird ein ESD-Schutzbauteil mit einer V_{RWM} (reverse standoff voltage) von mehr als 13,5 V benötigt. Falls 'Kurzschluss nach Batterie' nicht zu testen ist, kann ein Bauteil mit einer V_{RWM} von 5V oder weniger gewählt werden. Die Position ESD2 ist von dem 'Kurzschluss nach Batterie'-Test nicht betroffen, da die Kondensatoren den Gleichstrom abblocken. Hier können Standoff-Spannungen von 5 V oder weniger gewählt werden. In einigen Fällen ist eine kapazitive Kopplung des Kabelschirms erforderlich und kann eventuell als möglicher Massebezug für das ESD-Schutzbauteil dienen.

Das heutige Infotainment im Automobil erfordert einen hochauflösenden und qualitativ hochwertigen Videostream. Dadurch steigen die Anforderungen an die Datenrate von Video-Links rapide. Bei den neuen Generationen von Video-Links ist eine Datenrate von bis zu 13 Gbit/s Stand der Technik und wird in Zukunft bis zu 16 Gbit/s steigen. In solchen Szenarien spielt die Signalintegrität für Entwicklungsingenieure eine Schlüsselrolle.

Bei der Auswahl eines ESD-Schutzbauteils mit Hinblick auf die Signalintegrität gibt es mehrere Parameter zu beachten. Im Normalbetrieb ist die Spannung über dem ESD-Schutzbauteil sehr klein, normalerweise unter 1 V. In diesem Fall verhält sich das ESD-Schutzbauteil wie eine Parallelkapazität im Signalpfad. C_d ist einer der Parameter mit dem größten

Einfluss auf die Signalintegrität. Angesichts der hohen Datenrate von bis zu 16 Gbit/s sind hier nur sehr kleine C_d -Werte <1 pF akzeptabel.

Abbildung 2 zeigt die Auswirkung von C_d auf die Einfügungsdämpfung (S_{21}) im Frequenzbereich bis 6 GHz.

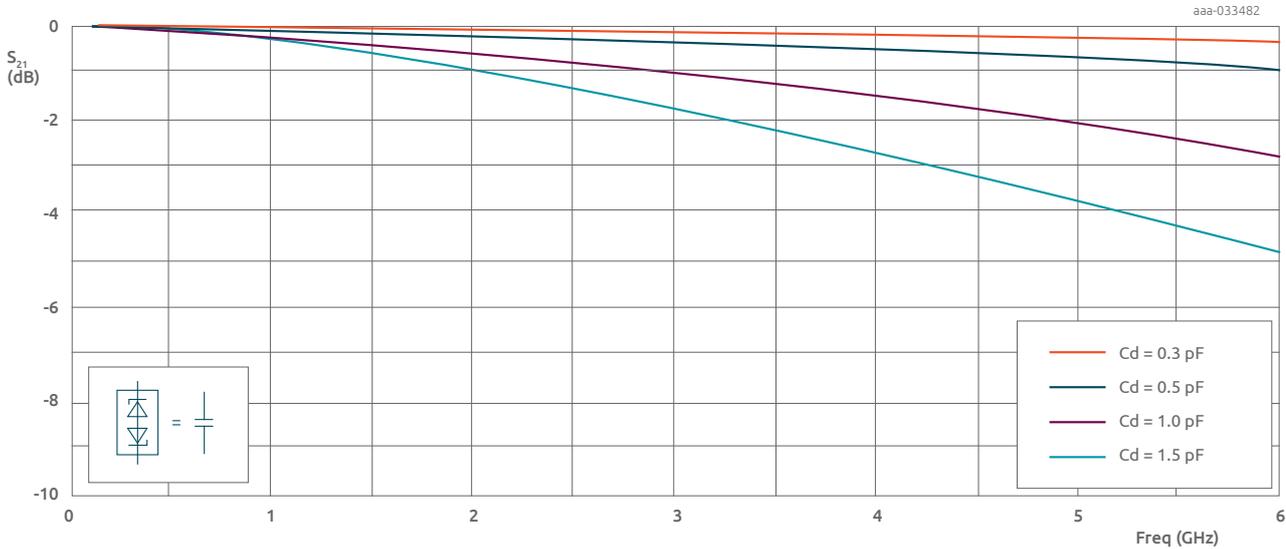
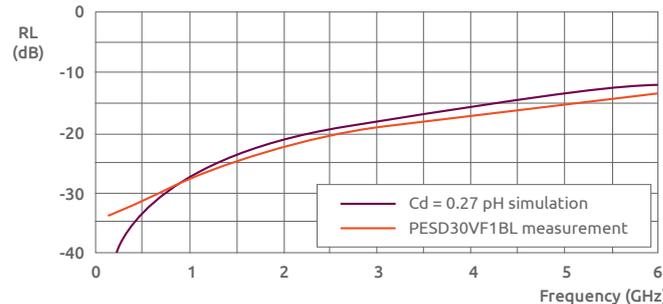
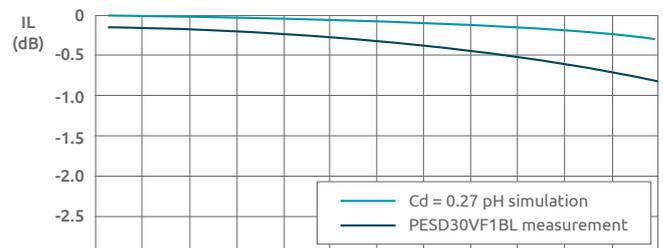
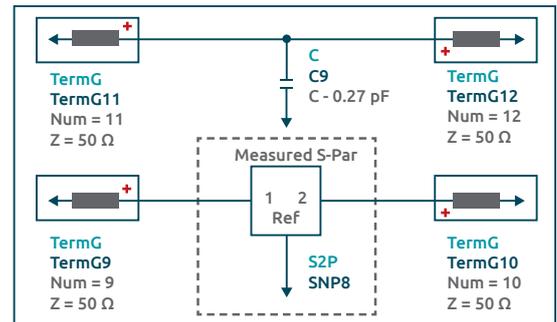


Abbildung 2: Einfügungsdämpfung über der Frequenz für verschiedene Werte von C_d . Werte unter 1,1 pF haben nahezu keinen Einfluss auf die Signalintegrität.

Bei Kapazitätswerten unter 1 pF bleibt die Signaldämpfung bis 6 GHz deutlich unter 3 dB, bei 0,5 pF sogar unter 1 dB. Das bedeutet, dass Kapazitätswerte unter 1 pF oder gar unter 0,5 pF eine nahezu unverfälschte Signalübertragung bis 6 GHz ermöglichen.

Darüber hinaus können das Bauteilgehäuse und dessen Einfluss auf das Routing der Signalleitungen einen erheblichen Einfluss auf die Signalintegrität haben. In der Regel sind kompakte, bleifreie Gehäuse wie DFN (Dual-Flat No Leads) die beste Wahl, da sie im Vergleich zu bedrahteten Gehäusen eine kleinere Parasitärkapazität aufweisen. Außerdem beeinflussen sie dank ihrer sehr kleinen Grundfläche kaum das Routing der Signalleitungen und damit deren Impedanz. Daher ist die Kapazität des ESD-Schutzbauteils die dominante Einflussgröße.



Nexperia PESD30VF1BL Bidirectional ESD protection diode

9. Characteristics

Table 6. Characteristics

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V_{R0}	Reverse standoff voltage	$T_{amb} = 25^\circ\text{C}$	-	-	30	V
V_{BR}	Breakdown voltage	$I_{R0} = 10 \text{ mA}; T_{amb} = 25^\circ\text{C}$	31	34	39	V
I_{R0}	Reverse leakage current	$V_R = 30 \text{ V}; T_{amb} = 25^\circ\text{C}$	-	0.1	50	nA
C_d	Diode capacitance	$f = 1 \text{ MHz}; V_R = 25^\circ\text{C}$	-	0.27	0.4	pF
V_{CL}	Clamping voltage	$I_{R0} = 1 \text{ A}; T_{amb} = 25^\circ\text{C}$	[1]	6.5	-	V
		$I_{R0} = 16 \text{ A}; T_{amb} = 25^\circ\text{C}$	[2]	23	-	V
R_{dyn}	Dynamic resistance	$I_R = 7.5 \text{ A}; T_{amb} = 25^\circ\text{C}$	[2]	0.7	-	Ω

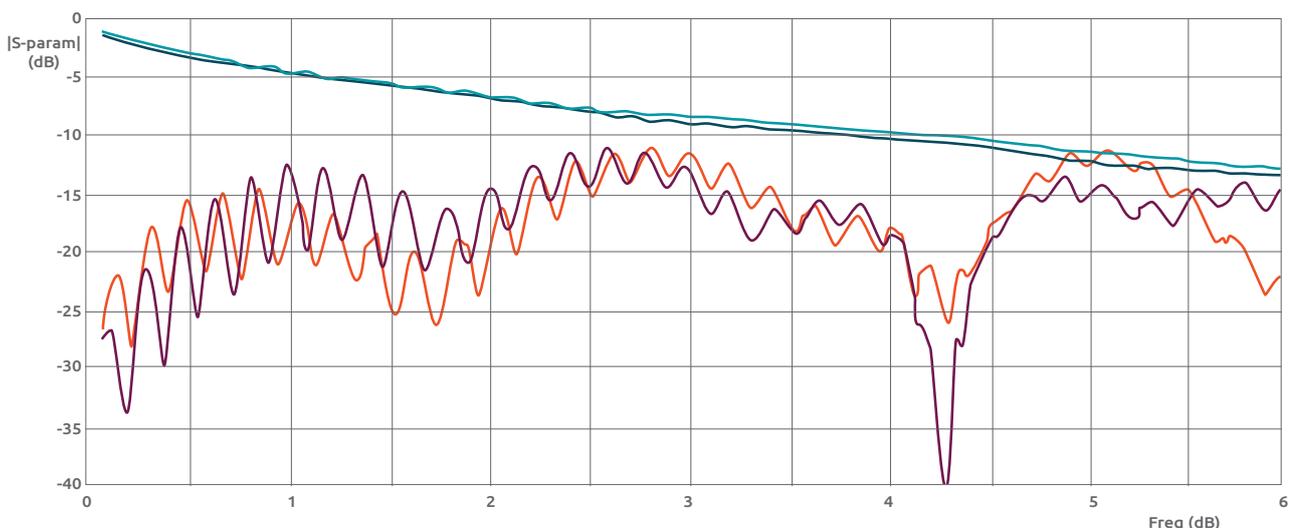
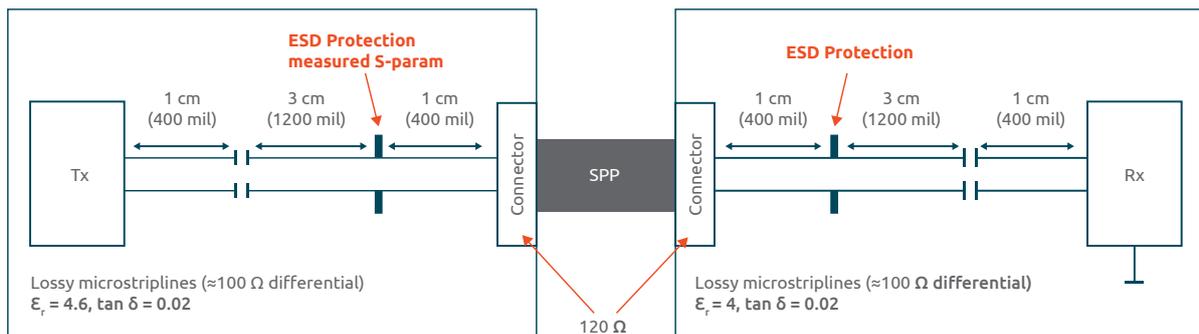
Abbildung 3: S-Parameter-Simulation eines ESD-Schutzbauteils mit einer Kapazität $C_d = 0,27$ pF im Vergleich zu gemessenen S-Parametern. Die beiden Kurven zeigen eine gute Übereinstimmung bis 6 GHz.

Abbildung 3 zeigt die Simulation eines ESD-Schutzbauteils im Vergleich zu einer Messung an einem realen ESD-Schutzbauteil (PESD30VF1BL). Die Simulation erfolgte mit dem im Datenblatt angegebenen C_d -Wert von 0,27 pF. Das PESD30VF1BL ist ein winziges SMD-Bauteil im Kunststoffgehäuse, das eine einzelne Signalleitung vor Beschädigung durch elektrostatische Entladungen oder sonstige Transienten schützt. Sowohl die Einfügedämpfung (IL) als auch die Rückflussdämpfung (RL) stimmen zwischen Simulation und Messung bis 6 GHz gut überein. Die Ergebnisse zeigen, dass die Bauteilkapazität sich gut dazu eignet, den Einfluss des Bauteils auf die Signalintegrität abzuschätzen.

Um den Einfluss auf die Signalintegrität der gesamten Verbindung einschließlich Serializer (Tx) und Deserializer (Rx) zu untersuchen, wurde die gesamte Leiterplatte und die Kabelübertragung in ADS simuliert, siehe Abbildung 4. Die Leiterplatte wurde mittels verlustbehafteter 100- Ω -Microstrip-Leiter simuliert. Als Substratmaterial wurde für die Simulation ein typisches FR4 mit $\epsilon_r = 4,6$ und $\tan \delta = 0,02$ verwendet. Bei den DC-Sperrkondensatoren handelt es sich um ideale 100-nF-Kondensatoren. Das Kabel wird durch die gemessenen

S-Parameter eines typischen SPP- (shielded parallel pair) Kabels mit einer Länge von 10 m repräsentiert. Der Steckverbinder wurde durch einen fehlangepassten 120- Ω -Microstrip-Leiter simuliert. In der Realität ist die Impedanz des Steckverbinders sehr stark von der Layer-Struktur und vom Layout der Leiterplatte abhängig und kann zwischen 60 bis 150 Ω oder mehr variieren; das kann sich sehr stark auf die Signalintegrität des gesamten Signalpfades auswirken.

Um den Einfluss des ESD-Schutzbauteils zu untersuchen, wurden für die Simulation die gemessenen S-Parameter des Nexperia PESD30VF1BL verwendet. Dieses Bauteil hat eine typische Kapazität von 0,27pF und besitzt ein sehr kompaktes SMD-Gehäuse (SOD882BD). Wegen der winzigen Gehäuseabmessungen können die Einflüsse des Gehäuses auf das Leiterbahnen-Routing und die Signalintegrität vernachlässigt werden; deshalb wurde auf eine Simulation dieser Effekte verzichtet. Abbildung 4 vergleicht die S-Parameter (IL und RL) der gesamten Verbindung von Tx zu Rx mit und ohne ESD-Schutzbauteil. Es ist zu erkennen, dass das Kabel, die Steckverbinder und die Leiterplatte dominieren. Der Beitrag des ESD-Schutzbauteils hingegen fällt nicht groß ins Gewicht.



aaa-033484

Abbildung 4: a) ADS-Setup für die Simulation der kompletten Verbindung zwecks Analyse des Einflusses eines ESD-Schutzbauteils auf die S-Parameter. b) Der Einfluss des ESD-Schutzbauteils ist wesentlich kleiner als die Einflüsse der übrigen Komponenten im Signalpfad, wie z. B. Kabel oder Steckverbinder.

Fazit

Der explosionsartig zunehmende Bedarf an Infotainment und Sicherheit in modernen Auto-mobilsystemen erfordert hoch anspruchsvolle, EMV-konforme und robuste High-Speed-Lösungen. ESD kann Fehlfunktionen oder sogar eine irreversible Zerstörung des Systems verursachen, was kostspielige Rückrufaktionen erforderlich machen könnte. ESD-Schutzbauteile sind notwendig, um das zu vermeiden und größtmögliche Systemzuverlässigkeit und Robustheit zu gewährleisten.

Neben den existierenden Video-Link-Protokollen werden in der Automobilindustrie noch diverse Alternativen diskutiert. Das offene Komitee Automotive Serdes Alliance wurde gegründet, um einen gemeinsamen Standard für Hochgeschwindigkeits-Videolinks zu schaffen, der die Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit dieser Verbindungen gewährleisten soll.

In der Zwischenzeit zeigen Tests, dass die AEC-qualifizierten, für Infotainment-Systeme entwickelten ESD-Schutzbauteile von Nexperia die ideale Kombination von geringer Kapazität, niedriger Klemmspannung und hoher ESD-Festigkeit bieten. Mit ihrer aktiven Thyristor-Technologie meistern diese Bauteile die gestiegenen Herausforderungen beim ESD-Schutz, die herkömmliche Lösungen überfordern. Diese Technologie liefert überzeugende Ergebnisse: Kleine Kapazität ab 0,5 pF, Klemmspannung von nur 3 V und Stoßspannungs- und ESD-Festigkeit bis 10 A 8/20 µs. Diese ESD-Schutzbauteile sind mit allen AEC-Spezifikationen konform und besitzen ein äußerst kompaktes und für Hochgeschwindigkeitsanwendungen geeignetes Gehäuse.

About Nexperia

Nexperia is a leading expert in the high-volume production of essential semiconductors that are required by every electronic design in the world. The company's portfolio includes diodes, bipolar transistors, ESD protection devices, MOSFETs, GaN FETs and analog & logic ICs. Headquartered in Nijmegen, the Netherlands, Nexperia annually ships more than 90 billion products, meeting automotive standards. These products are recognized as benchmarks in efficiency – in process, size, power and performance — with industry-leading small packages that save valuable energy and space. Nexperia has over 12,000 employees across Asia, Europe and the US.

[Find your regional sales office here](#)

Weitere Informationen über ESD-Schutzbauteile von Nexperia, die speziell für Automobil-anwendungen entwickelt wurden, finden Sie unter:

www.nexperia.com/applications/automotive/multimedia-bus-protection.html

© 2021 Nexperia B.V.

All rights reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner. The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

nexperia.com

Date of release:

July 2021

