Highspeed ohne Risiken

Mit neun Fragen zum richtigen Steckverbinder für Highspeed-Anwendungen

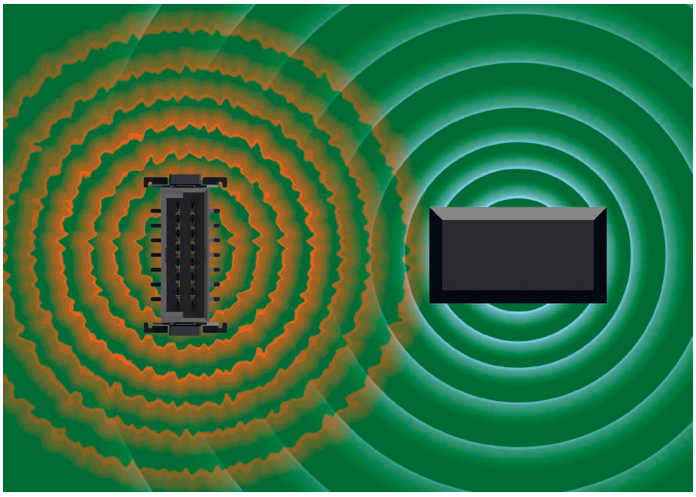

Bild 1: Elektronische Komponenten als Störsenke und Störquelle auf engem Raum

Big Data und Co. fordern zunehmend höhere Datenübertragungsraten und beeinflussen die moderne Medizintechnik damit maßgeblich. Elektronische Bauteile müssen dabei nicht nur immer schneller und intelligenter, sondern auch immer kleiner werden. Daraus ergeben sich besondere Risiken in der Datenübertragung und damit auch neue Herausforderungen für die Anschlusstechnologie. Mit dem passenden Steckverbinder können Signalstörungen jedoch vermieden werden.

Die fortschreitende Digitalisierung macht auch vor der Medizintechnik nicht Halt. Moderne bildgebende Verfahren beispielsweise erfordern immer höhere Datenübertragungsraten bei maximaler Zuverlässigkeit: Signale müssen hier mit bis zu 20 Gbit/s und mehr ausfallsicher übertragen werden. Neben Highspeed hält jedoch noch ein weiterer Trend Einzug in die Medizintechnik: Demnach müssen elektronische Komponenten nicht nur immer intelligenter, sondern auch immer kleiner werden. Diese fortschreitende Miniaturisierung erschwert Entwicklern das Bestehen der verpflichtenden EMV-Prüfungen der europäischen Richtlinie. Denn elektronische Komponenten einer Baugruppe können sowohl als Störsenke, als auch als Störquelle (Bild 1) wirken und die nahe Platzierung sensibler Bauteile erhöht das Risiko einer gegenseitigen Beeinflussung.

Eine wichtige Aufgabe von Steckverbindern der neuesten Generation ist es also auch, Störungen in der Signalübertragung zu minimieren und das Kontaktdesign der Stecker perfekt darauf abzustimmen. Nur so können folgende Risiken in der Datenübertragung umgangen werden:

1. Schwankungen der Impedanz durch Material- und Geometrieveränderungen

Ändert sich die Impedanz im Übertragungsweg des Signals, so kommt es zu Reflexionen und damit zu einer reduzierten Effizienz der Datenübertragung, da ein Teil der Signale ihr Ziel nicht erreicht. Ein Steckverbinder ist aufgrund seiner Geometrie ein ungleichmäßiger Abschnitt der Signalleitung und damit ein potenzieller Risikofaktor für Impedanzschwankungen. Hier liegt demnach eine besondere Herausforderung im Design von Highspeed-Steckverbindern zur Steuerung ihrer Impedanz. Diese wird von induktiven und kapazitiven Eigenschaf-

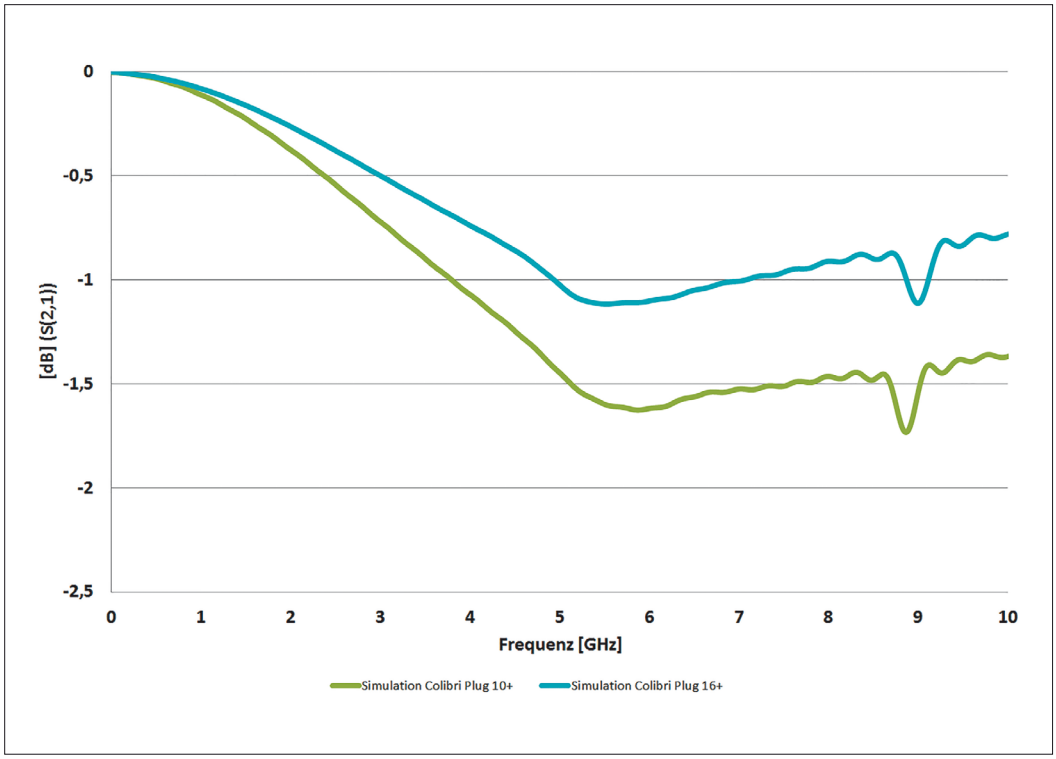

Bild 2: Optimierung der ept Colibri-Steckverbinder von 10+ Gbit/s auf 16+ Gbit/s

ept GmbH
www.ept.de

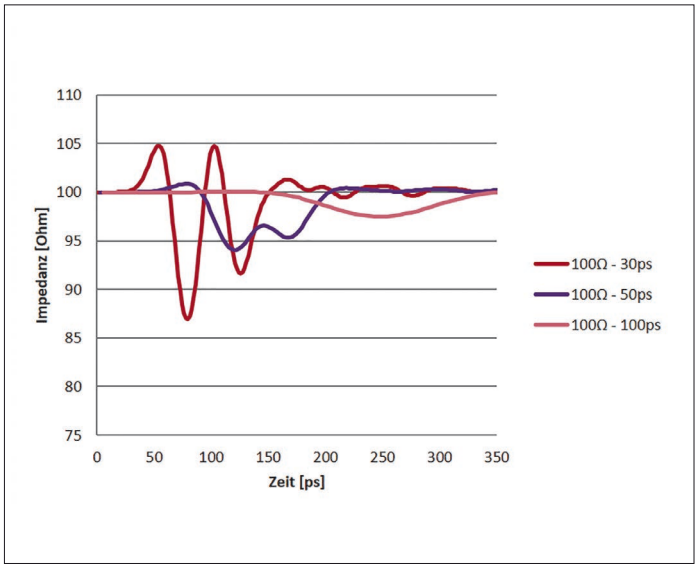

Bild 3: Abhängigkeit der Impedanz von der Rise Time

ten bestimmt, welche wiederum von Größe, Anordnung und Design der Pins abhängen. Bei den Dielektrika im Steckverbinder muss außerdem bedacht werden, dass auch sie die Signalintegrität durch die Beeinflussung der Signalausbreitung verändern können. Die relative Dielektrizitätskonstante oder magnetische Permittivität ε_r ist hierbei das Maß für die dielektrischen Verluste in einem (nichtidealen) Isolator. Im besten Fall sollte ein Steckverbinder eine auf die Applikation angepasste Impedanz haben – in der Regel 85 oder 100 Ohm. Das bedeutet jedoch keineswegs, dass er in einer anderen Umgebung nicht eingesetzt werden darf. Vielmehr müssen zur Ermittlung eines Impedanzprofils nicht nur Querschnitts- und Materialänderungen berücksichtigt werden, sondern auch das anliegende Signal.

2. Dämpfung durch Einfüge- und Rückflussdämpfung

Abweichungen im Impedanzverlauf haben Signalreflexionen zur Folge. Diese äußern sich in der Einfügedämpfung = Insertion Loss. Damit wird der Signal- bzw. Leistungsverlust entlang des Signalpfades als Verhältnis von ausgehendem zu eingehendem Signal beschrieben. Bei einer hohen Einfügedämpfung kann ein Signal vom Empfänger nicht mehr eindeutig identifiziert werden. Daher wird in der Regel ein Grenzwert von -3 dB festgesetzt (Bild 2).

Die Einfügedämpfung setzt sich dabei aus unterschiedlichen Komponenten zusammen: Kopplungsverluste, dielektrische Verluste, Reflexionsverluste, Leitungsverluste und Strahlungsverluste.

Kopplungsverluste entstehen an der Kontaktstelle zwischen Feder- und Messerleiste. Eine zuverlässige Kontaktierung mit entsprechenden Toleranzen im gesteckten Zustand ist ausschlaggebend, um Verluste in der Signalübertragung zu reduzieren. Der Ohm'sche Kontaktwiderstand sollte außerdem durch eine große Kontaktfläche und eine hohe Kontaktnormalkraft an der Kontaktstelle möglichst gering gehalten werden. An der Steckverbinderoberfläche können Fremdschichten beispielsweise durch Abriebspartikel den Übergangswiderstand erhöhen. Daher sind wertige Steckverbinder mit einer wenigstens oberflächlichen Goldschicht versehen.

Material des Isolierkörpers

Verluste in der Signalübertragung können jedoch auch auf Dielektrika in unmittelbarer Nähe des Signalpfades zurückzuführen sein. Beim Steckverbinderdesign sollte daher auch das Material des Isolierkörpers an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Für den Steckverbinderhersteller bedeutet dies, dass er die Dielektrizitätskonstante bei Simulationen berücksichtigen muss, bevor er entsprechende S-Parameter ausgeben darf.

Reflexionsverluste entstehen dagegen durch Impedanzschwankungen, welche wiederum auf Querschnittsänderungen im Steckverbinder beruhen. Diese sollten dementsprechend nach Möglichkeit auf ein Minimum reduziert werden.

Pinquerschnitt und -material

Über die Höhe der Leitungsverluste entscheiden Pinquerschnitt und -material, während überstehende Leitungselemente als Antennen wirken und zu unerwünschten Resonanzen führen können. Darüber hinaus begünstigt ein solcher Kontaktüberstand auch elektromagnetische Strahlungsverluste.

Abgesehen von der Einfügedämpfung muss auch die Rückflussdämpfung berücksichtigt werden. Darunter wird der Anteil des zurückgeworfenen Signals am eingefügten Signal verstanden. Grundsätzlich gilt: Je größer diese Rückflussdämpfung, desto besser die Signalintegrität. Bei einem gegebenen Impedanzprofil eines Steckverbinders bleibt einem Systemdesigner nur wenig Spielraum, die Rückflussdämpfung weiter zu beeinflussen. Am ehesten gelingt dies über die Rise Time oder das Pinout. Die Rise Time beschreibt die Zeit, in der das Signal zwischen zwei definierten Amplituden-Werten (in der Regel 10 % und 90 %) liegt. Je geringer die Rise Time, desto größer die Bandbreite und desto näher liegt die Impedanz an jener des restlichen Systems (Bild 3).

3. Übersprechen

Unter Übersprechen, Nebensprechen oder auch Crosstalk versteht man die unerwünschte Beeinflussung eines differenziellen Signals durch ein weiteres auf einer anderen Leitung. Dabei kann die kapazitive und die induktive Kopplung separat betrachtet werden (Bild 4). Nahübersprechen (NEXT) kommt dadurch zustande, dass die Signalübertragung eines Paares die Signalübertragung eines parallelverlaufenden Paares überwiegend durch Induktion stört. Je höher die Frequenz, desto größer ist auch die Störung, die sich auf das zweite Paar auswirkt. Bei einem betragsmäßig hohen dB-Wert besteht eine hohe Dämpfung des Übersprechens. Es kann also nur ein geringer Einfluss im gestörten Paar gemessen werden. Bei einem Wert von -20 dB sprechen 1 % des Signals über, bei einem Wert von -40 dB hingegen nur noch 0,01 %.

Im Gegensatz zum Nahübersprechen tritt das Fernübersprechen (FEXT) über die gesamte Länge einer Leitung auf. Die Störung des Signals durch ein benachbartes Paar wird daher am Ende der Übertragungsstrecke gemessen und fällt in der Regel geringer aus, da das störende Signal entlang der Leitung gedämpft wird.

Crosstalk kann durch Anordnungen im Pinout reduziert werden, indem zwei sich potenziell beeinflussende Kontaktpaare durch Massekontakte voneinander entfernt platziert werden. Außerdem verringert ein Kontaktdesign mit möglichst kurzen Signalwegen den Einfluss durch Nebensprechen.

4. Elektromagnetische Einflüsse

Natürlich darf eine Datenübertragung nicht gestört, verfälscht oder gar verhindert werden, weshalb der EM-Schutz immer mehr an

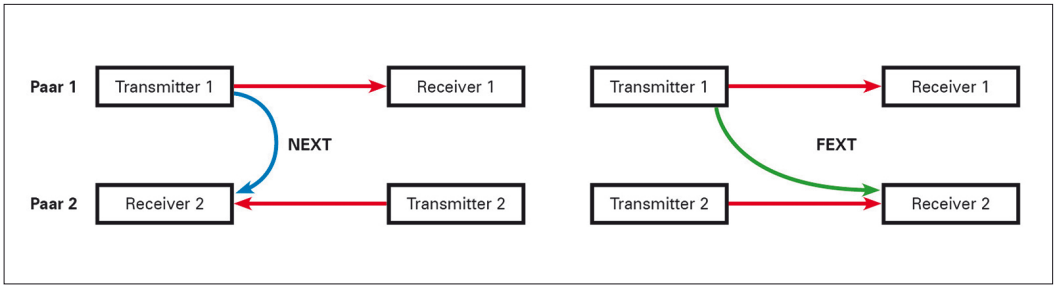

Bild 4: Die Wirkung von Nah- und Fernübersprechen auf die Signalübertragung

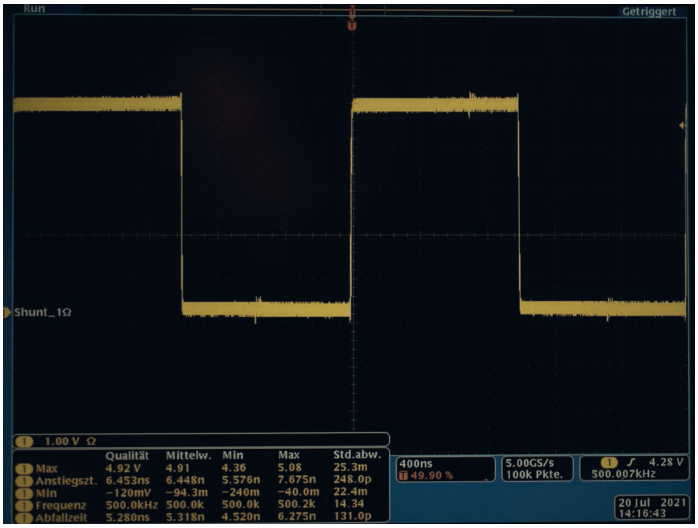

Bild 5a: Störung des Nutzsignals beim geschirmten Steckverbinder

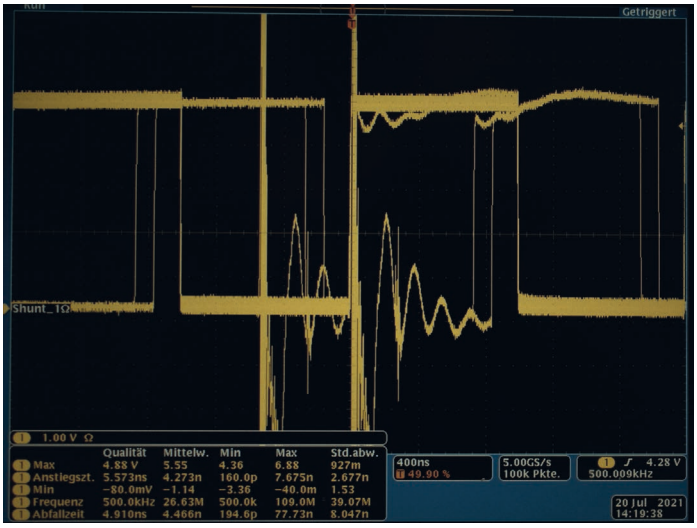

Bild 5b: Störung des Nutzsignals beim ungeschirmten Steckverbinder

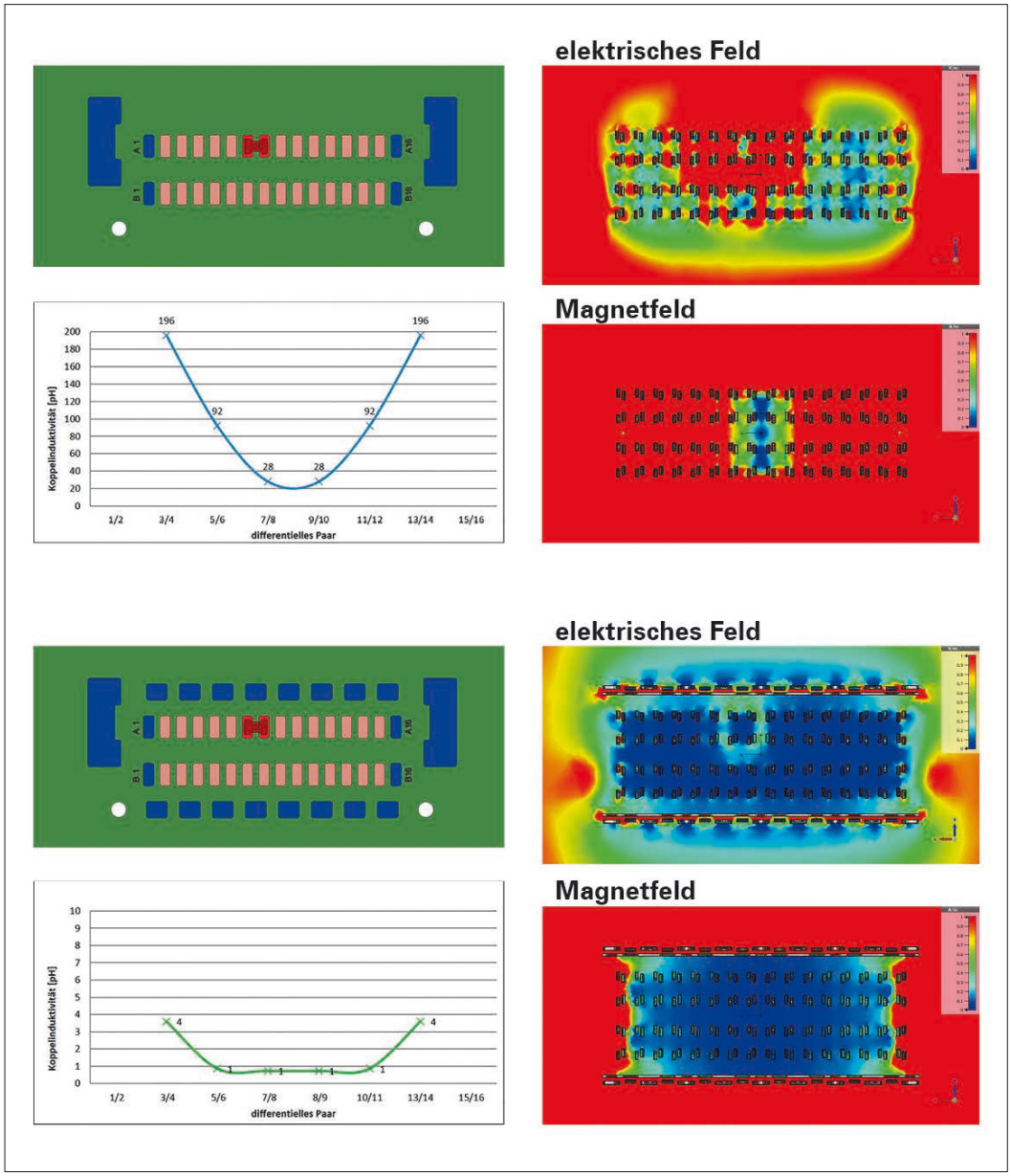

Bild 6: Simulation eines ungeschirmten (oben) und eines geschirmten (unten) Steckverbinders

Relevanz gewinnt. Eine elektromagnetische Störung ist mit dem Übersprechen vergleichbar. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Störquelle nicht innerhalb der einzelnen Signalpfade im Stecker, sondern extern liegt.

Highspeed-Datenübertragungen sind besonders anfällig für Störungen durch ungewollte elektromagnetische Effekte. Schon ein kleiner Impuls kann das Nutzsignal dabei verfälschen und der Empfänger kann die digitalen Zustände nicht mehr eindeutig interpretieren (Bild 5).

Ein Steckverbinder kann dabei sowohl Störsenke als auch Störquelle darstellen, also zum einen durch andere Komponenten der Baugruppe beeinflusst werden und zum anderen selbst elektromagnetisch auf umliegende Bauteile einwirken. Mit der Koppelinduktivität L_K in der Einheit Henry kann der Stecker in beiden Funktionen – Quelle und Senke – beschrieben werden.

Die Koppelinduktivität ist dabei als EMV-Parameter anzusehen, da der Steckverbinder durch die Betrachtung der elektrischen Verhältnisse einfach beschrieben werden kann. Dies gilt sowohl für die Störfestigkeit als auch für die Störaussendung. Die Koppelinduktivität ist kein Maß, das für den gesamten Steckverbinder gleichermaßen gilt, denn die Signalbelegung am Steckverbinder und die Steckverbinder-Geometrie beeinflussen den Wert.

Durch einen einfachen Messaufbau kann sie jedoch leicht ermittelt werden.

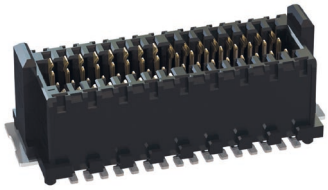

Bild 7a: Zero8 in ungeschirmter Ausführung

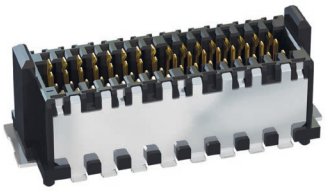

Bild 7b: Zero8 in geschirmter Ausführung

Durch Scannen des QR-Codes wird der vollständige Versuchsaufbau gezeigt:

Anwender können somit vor dem Einsatz der Steckverbinder erkennen, welcher Stecker beziehungsweise welches Pinout für die jeweilige Anwendung notwendig bzw. optimal ist. Dementsprechend muss je nach fallspezifischer Anforderung die Höhe des Burst-Impulses gewählt und somit die maximal zulässige Koppelinduktivität bestimmt werden. Sind die induzierte Spannung (U_{ind}), die Spannung des Generators (U_{Gen}) sowie die Generatorkonstante (k_{Gen}) bekannt, kann für eine Anwendung die jeweils spezifische, maximal zulässige Koppelinduktivität (L) anhand folgender Formel bestimmt werden:

$$L = U_{ind} / (U_{Gen} * k_{Gen})$$

Die Koppelinduktivität hilft dem Anwender außerdem dabei, den passenden Steckverbinder bezüglich seiner elektromagnetischen Verträglichkeit zu definieren und kosten- sowie zeitintensive Trial-and-Error-Prüfungen im EMV-Labor zu umgehen.

Hierzu ein Beispiel:

Für ein HDMI-Signal wurde bei einer Spannung von 4,4 kV eine fallspezifisch maximale Koppelinduktivität von 47 picohenry (pH) ermittelt. Liegt der Wert darüber, kann das Signal demnach nicht mehr störungsfrei übertragen werden. Die Abbildungen in Bild 6 zeigen, wie mithilfe eines Schirmkonzeptes die Koppelinduktivität eines Steckverbinders signifikant reduziert werden kann. Dabei wurden die Boardlocks und äußeren Kontakte sowohl bei der ungeschirmten als auch der geschirmten Ausführung auf Massepotenzial gelegt. Über ein Kontaktpaar wurde dabei ein Signal eingebracht und die gemessenen Koppelinduktivitätswerte anhand von farblichen Verläufen des elektrischen und magnetischen Feldes demonstriert. Die Simulation mit einem ungeschirmten Steckverbinder hat gezeigt, dass hierbei eine Koppelinduktivität von bis zu 196 pH vorliegt – die Signalübertragung wäre somit nicht mehr störungsfrei gewährleistet. Beim geschirmten Steckverbinder hingegen liegen die Koppelinduktivitätswerte bei 1 bis 4 pH. Diese konnten also durch die Schirmung etwa um den Faktor 50 reduziert und somit eine störungsfreie Übertragung wieder sichergestellt werden. Bei höheren Polzahlen ist sogar eine Reduktion um den Faktor 100 bis 200 möglich.

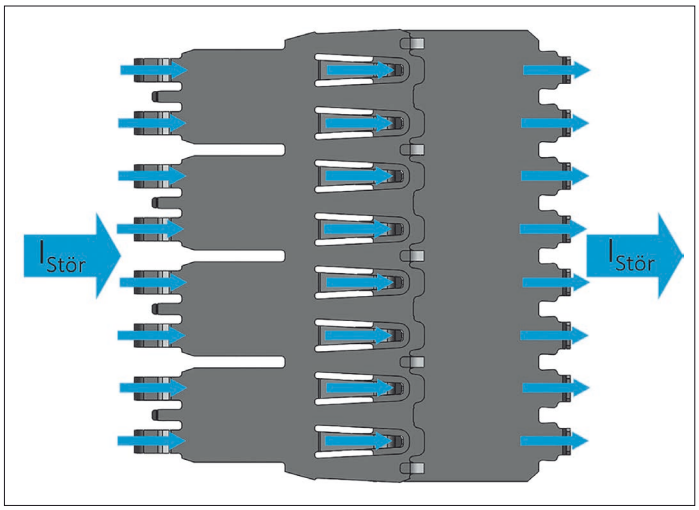

Bild 8: Aufteilung des Stromflusses durch das Schirmblech

Koppelinduktivitätswerte sind fallspezifisch

Koppelinduktivitätswerte sind von Anwendung zu Anwendung unterschiedlich und müssen daher immer fallspezifisch ermittelt werden. Neben dem Spannungspegel und der Frequenz des Nutzsignals muss bei der Festlegung der Grenzwerte auch die Höhe des Burst-Impulses und die Pinbelegung betrachtet werden. Bei einem internen Bus innerhalb einer Steuerung für Automatisierungstechnik kann demnach beispielsweise mit <10 pH ein deutlich strengerer Grenzwert vorliegen. Zudem muss berücksichtigt werden, dass die Koppelinduktivitätswerte je nach Pinbelegung und Polzahl unterschiedlich ausfallen. Kleinere Steckverbinder weisen demnach auch im Inneren höhere Koppelinduktivitätswerte auf als Steckverbinder mit hohen Polzahlen.

Der geschirmte Steckverbinder (Bild 7b) zeigt für den Anwender in zweierlei Hinsicht positive Eigenschaften: Zum einen wirkt er weniger als Störquelle, zum anderen stellt er durch die Abschirmung für die Signale eine geringere Störsenke dar. Durch den Einsatz von geschirmten Steckverbindern können diese nun näher an Störquellen und Störsenken auf der Leiterplatte positioniert werden. Zusätzlich wird eine höhere Leistungsklasse bei den vorgeschriebenen Burst- und Surge-Prüfungen des elektrischen Gerätes ermöglicht.

Schirmwirkung

Voraussetzung für eine gute Schirmwirkung ist es, ein Material mit hoher Leitfähigkeit zu verwenden. Die Anzahl der Kontaktpunkte ist für die Wirkung der Abschirmung und damit für die Verträglichkeit eines Steckverbinders entscheidend. Der induzierte Störstrom im Schirm des Steckverbinders, der sicher abgeleitet werden soll, erzeugt wiederum ein Magnetfeld, das die Signalkontakte beeinflussen kann. Je höher der Strom, desto stärker das Magnetfeld. Durch eine multiple Kontaktierung des Schirmbleches wird der Stromfluss aufgeteilt und das Magnetfeld somit reduziert.

Der richtige Steckverbinder

Die Wahl des richtigen Steckverbinders für eine bestimmte Highspeed-Anwendung ist nicht immer leicht. Speziell im medizintechnischen Bereich muss der Stecker viele Anforderungen zugleich erfüllen und ist dabei verschiedenen Faktoren unterworfen. Daher gilt es letztendlich, eine Anschlusslösung zu wählen, die am besten zu den eigenen Bedürfnissen passt. Mit den nachfolgenden neun Fragen ist man jedoch gut gewappnet, um einen für jede Highspeed-Anwendung geeigneten Steckverbinder zu finden. ◄

Mit neun Fragen zum richtigen Highspeed-Steckverbinder:

1. Welche Datenrate soll übertragen werden und wie ist das Signal moduliert?
2. Auf welche Impedanz muss mein Steckverbinder optimiert sein?
3. Habe ich zur Minderung des Crosstalks die Anordnung der Pins beachtet?
4. Hat der Steckverbinderhersteller auch die Dielektrizitätskonstante bei Simulationen berücksichtigt?
5. Hat der Steckverbinderhersteller einen Nachweis über konstante Übergangswiderstände bei mechanischen und klimatischen Prüfungen?
6. Bietet das Kontaktdesign des Steckers möglichst kurze Signalwege?
7. Welche Anforderung habe ich in Bezug auf die Einfügedämpfung?
8. Welche maximale Rückflussdämpfung ist bei meiner Anwendung zulässig?
9. Bei welchem Wert liegt meine maximal zulässige Koppelinduktivität unter Berücksichtigung von Nutzsignal, Burst-Impuls und Pinbelegung?