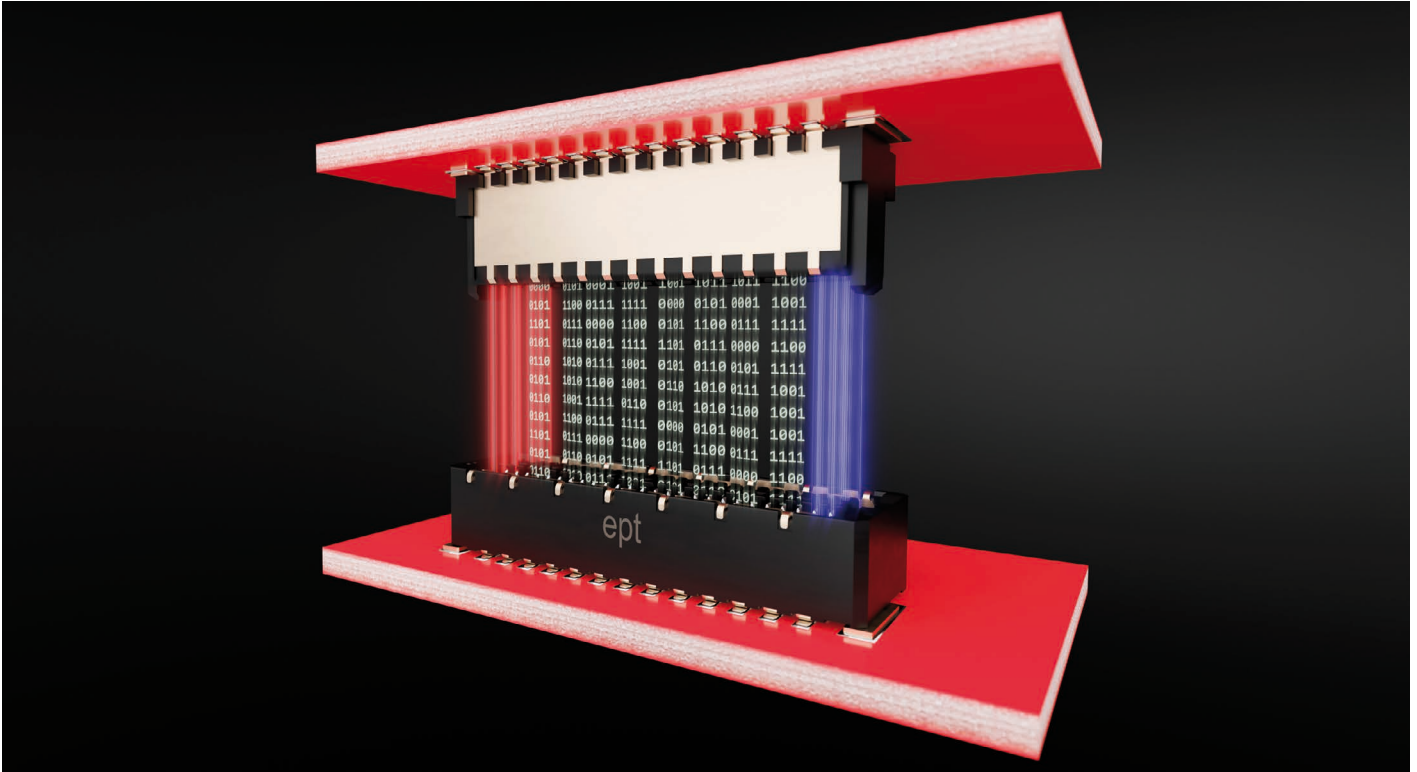


Hohe Ströme und Highspeed-Signale

Wie ein Steckverbinder beides zugleich lei(s)ten kann



Embedded-PCs, Industriesteuerungen oder optische Sensoren für autonomes Fahren, wie Radar, LiDAR und Kamerasysteme: Viele Anwendungen erfordern sowohl eine hohe Stromtragfähigkeit des verbauten BtB-Steckverbinders, als auch Highspeed-Datenübertragungsraten. Auf den ersten Blick scheinen diese Anforderungen miteinander unvereinbar. Viele Entwickler entscheiden daher, Strom und Signale über separate Stecker zu führen – auf Kosten von Budget und Bauraum. Dass es jedoch eine günstigere und platzsparendere Lösung gibt, ist vielen nicht bewusst.

Hintergrund: Stromtragfähigkeit

Fließt ein elektrischer Strom durch einen Widerstand, führt dies zu Verlustleistung, die sich in Erwärmung des bestromten Materials äußert. Je höher dabei der Stromfluss, desto stärker erwärmt sich dabei auch der Leiter. Diese Heizleistung P – auch Joule'sche Verlustleistung genannt – ergibt sich dabei aus dem Widerstand des Leiters R und der Stromstärke I , welche quadratisch in den Term eingeht.

$$P = R \times I^2$$

Aus dieser Formel lassen sich zwei Kernaussagen ableiten: Zum einen führt eine Verdopplung des Stroms zu einer Vervierfachung der Verlustleistung. Zum anderen verhält sich der Widerstand eines elektrischen Bauteils proportional zu seiner Heizleistung P und hat damit unmittelbaren Einfluss auf thermische Veränderungen. Wovon der Leiterwiderstand R abhängig ist, wird aus folgender Formel ersichtlich:

$$R = \rho(T) \times l/A$$

Demnach erhöht sich der Widerstand R also mit zunehmendem spezifischen Widerstand des Leitermaterials $\rho(T)$, sowie der Länge l und der Querschnittsfläche A des Leiters.

Die Temperatur, die auf ein elektrisches Bauteil einwirkt, ist maßgeblich für dessen ordnungsgemäße Funktionsweise entscheidend, denn elektrische und mechanische Eigenschaften verändern sich in Abhängigkeit von thermischen Einflüssen. So nimmt bei einer signifikanten Temperaturerhöhung von Metallen der spezifische elektrische Wider-

stand ρ zu, während er zugleich an Festigkeit verliert.

Um einen Temperaturanstieg über die bauteilspezifische Grenztemperatur hinaus zu verhindern, ist es daher in der Praxis notwendig, den Stromfluss zu begrenzen.

Ermittlung der theoretischen Stromtragfähigkeit pro Pin

Möchte man die Stromtragfähigkeit pro Pin ermitteln, muss berücksichtigt werden, dass die maximal zulässige Temperaturerhöhung ΔT in Kombination mit der Umgebungstemperatur T_{Umgebung} nicht die maximal zulässige Grenztemperatur T_{Grenz} des Bauteils überschreiten darf. T_{Grenz} ergibt sich dabei aus der thermischen Belastbarkeit der verwendeten Werkstoffe, wohingegen T_{Umgebung} die Temperatur in unmittelbarer Nähe des Steckverbinders, also die geräteinterne Temperatur der Baugruppe während des Betriebs beschreibt. Mithilfe von Strombelastbarkeits-Kurven kann man ermitteln, wie viel Strom bei einer gegebenen Umgebungstemperatur durch einen Kontakt geführt werden darf, um die maximal zulässige Grenztemperatur des Bauteils

Autoren:
Martin Adamczyk
Laura Mitlewski
ept GmbH
www.ept.de

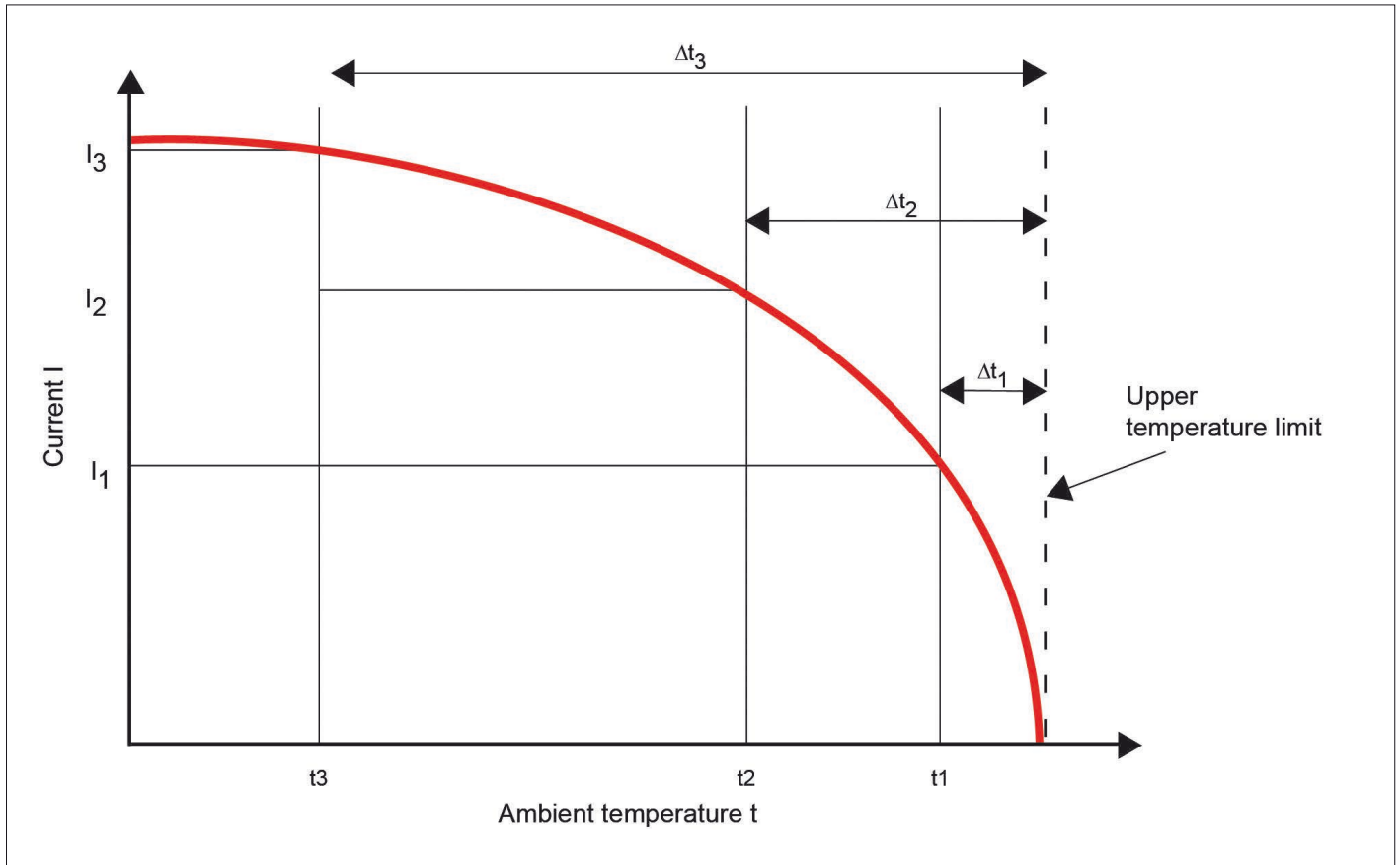


Bild 1: Basis-Strombelastbarkeitskurve gemäß DIN EN IEC 60512-5-2. Alle Bilder © ept GmbH

nicht zu überschreiten. Je höher dabei die Umgebungstemperatur, desto geringer ist entsprechend auch die Strombelastbarkeit pro Steckverbinderkontakt (Bild 1).

Basis-Strombelastbarkeits-Kurve

Wird eine Basis-Strombelastbarkeits-Kurve erstellt, muss nach DIN EN IEC 60512-5-2 bei mindestens drei verschiedenen Strömen I der Temperaturanstieg Δt ermittelt werden. Anhand dieser Werte wird die restliche Basis-Strombelastbarkeits-Kurve interpoliert. Je größer die Anzahl der Messungen, desto exakter kann die Basis-Strombelastbarkeits-Kurve abgebildet werden. Dabei sollten insbesondere im Grenzbereich der maximalen Temperaturerhöhung die Werte gemessen werden.

Normierte Derating-Kurve

Die Basis-Strombelastbarkeits-Kurve wird um den Korrekturfaktor 0,8 reduziert, sodass man die offizielle, in der Norm DIN EN IEC 60512-5-2 definierte Strombelastbarkeits-Kurve (Derating-Kurve)

erhält. In Datenblättern wird ausschließlich diese korrigierte Strombelastbarkeits-Kurve angegeben. Die Gründe für den Korrekturfaktor sind vielschichtig: Es werden damit sowohl Unsicherheiten in der Messanordnung und bei der

Temperaturmessung berücksichtigt, als auch eine Widerstandserhöhung, die sich während der Lebensdauer des Steckverbinders ergeben kann.

Bei der Ermittlung der Stromtragfähigkeit von Board-to-Board

Steckverbinder gemäß DIN EN IEC 60512-5-2 werden alle Kontakte der Steckpärchen in Reihe geschaltet. An der Position, die sich am Bauteil am stärksten erwärmt, wird ein Temperaturfühler angebracht. Dieser misst die Bauteiltemperatur.

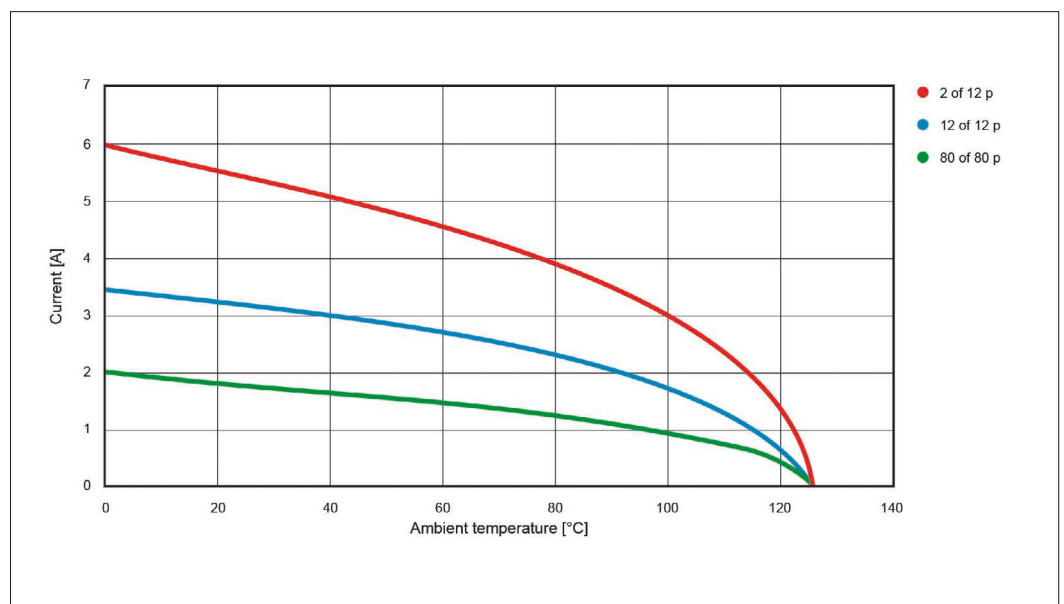


Bild 2: Beispiel Zero8 – Stromtragfähigkeit pro Kontakt in Abhängigkeit von Polzahl und Anzahl stromführender Kontakte

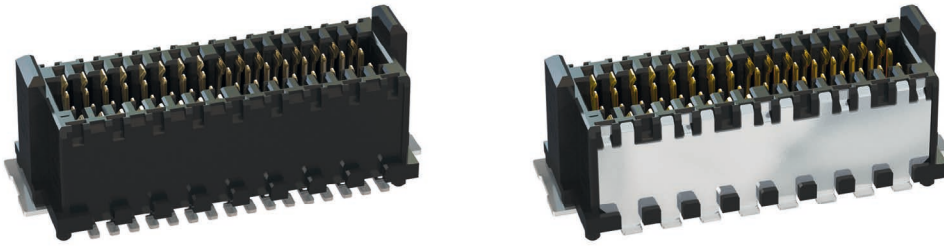


Bild 3: Zero8 in ungeschirmter (links) und geschirmter (rechts) Ausführung

Stromtragfähigkeit in der Praxis

In realen Anwendungen werden jedoch selten alle Kontakte eines Steckverbinders mit dem maximalen Stromwert belastet. In der Regel werden nur ein paar Kontakte für die Stromversorgung eines elektrischen Gerätes benötigt, über den Rest der Kontakte wird die Signalübertragung zwischen zwei Leiterplatten sichergestellt. Die Signale werden in Hochfrequenzanwendungen im Milliampere-Bereich übertragen, dies führt zu einer kaum messbaren Erwärmung der Signalkontakte. Bei der Bestromung einzelner Pins wird zudem weniger Wärmeenergie erzeugt, weshalb die Stromtragfähigkeit deutlich besser ausfällt. Diese Ergebnisse sind auch im Labor reproduzierbar.

Bild 2 zeigt beispielhaft, wie sich beim Steckverbinder Zero8 in Abhän-

gigkeit der Polzahl und Anzahl stromführender Kontakte unterschiedliche Stromangaben pro Kontakt ergeben. Grund hierfür ist eine geringere Hotspot-Bildung im Inneren von Steckverbindern mit kleiner Polzahl: Hier entsteht weniger Wärme und diese kann besser verteilt werden. Noch besser wird die Wärme abgeleitet, wenn der Strom nur über einen kleinen Anteil der Kontakte geführt wird.

Außerdem kann bei Anwendungen, die keinen hohen EMV-Schutz benötigen, ebenfalls die Schirmung eines Board-to-Board-Steckverbinders für die Stromübertragung verwendet werden (Bild 3).

Im Gegensatz zu dem Derating-Diagramm der Kontakte in Bild 2 steigt dabei die Strombelastbarkeit pro Schirmblech mit zunehmender Polzahl, da der Strom über eine größere Fläche übertragen werden kann (Bild 4).

Stromtragfähigkeit: Einflussmöglichkeiten beim Steckverbinder

Entscheidend für die elektrische Leitfähigkeit eines Steckverbinders ist unter anderem das Kontaktmaterial. Handelsüblich wird eine Bronzelegierung mit 6-prozentigem Zinnanteil (CuSn_6) verwendet. CuNiSi , eine Legierung aus Kupfer, Nickel und Silizium verfügt hingegen über die dreifache Leitfähigkeit und bietet darüber hinaus den Vorteil von hervorragenden Relaxationseigenschaften. So bleiben in Kombination mit einer doppelten Kontaktierung auch nach Lebensdauer- und Vibrationsprüfungen dauerhaft hohe Kontaktkräfte – und damit geringe Übergangswiderstände – erhalten.

Der Ohm'sche Kontaktwiderstand kann außerdem durch eine große Kontaktfläche und eine hohe Kontaktnormalkraft an der Kontaktstelle

möglichst geringgehalten werden. An der Steckverbinderoberfläche stellen Fremdschichten, beispielsweise durch Abriebpartikel, ein Risiko für einen erhöhten Übergangswiderstand dar. Um dies von vornherein zu vermeiden sind wertige Steckverbinder zumindest mit einer oberflächlichen Goldschicht versehen.

Zudem muss der Isolierkörper eines Steckverbinders aus hitzebeständigem Material sein, um dauerhaft hohe Ströme führen zu können. Hierzu eignet sich beispielsweise ein wärmebeständiges LCP-Material.

Ein konstanter Kontaktquerschnitt ermöglicht darüber hinaus, dass hohe Ströme über den Kontakt geführt werden, ohne eine partielle Überhitzung des Kontaktes zu riskieren. Die Vermeidung von Querschnittsänderungen wirkt sich außerdem positiv auf den Impedanzverlauf und damit auf die HF-Eigenschaften eines Steckers aus.

Hintergrund: Highspeed

Der Impedanzverlauf eines Steckverbinders ist von besonderer Bedeutung für die Signalintegrität. Sobald sich die Impedanz im Übertragungsweg des Signals verändert, entstehen Reflexionen. Diese reduzieren die Effizienz der Datenübertragung. Schon eine Material- oder Geometrieänderung kann eine Schwankung der Impedanz verursachen.

Doch nicht nur die Kontaktgeometrie des Steckverbinders, sondern auch die sogenannte Rise Time hat einen direkten Einfluss auf den Impedanzverlauf und somit auf die Qualität der Signalübertragung (Bild 5). Digitale Systeme operieren zwar idealisiert auf rechteckförmigen Signalen, welche ihren Zustand unmittelbar wechseln können. In der Realität benötigt der Zustandswechsel jedoch Zeit. 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.

Signalreflexionen

Infolge von Impedanzabweichungen sind Verluste, die mittels Insertion-Loss-Diagramm sichtbar werden. Der Insertion Loss (dt. „Eingefügedämpfung“) gibt die Abschwächung des Signals durch den Steckverbinder als Verhältnis von durch-

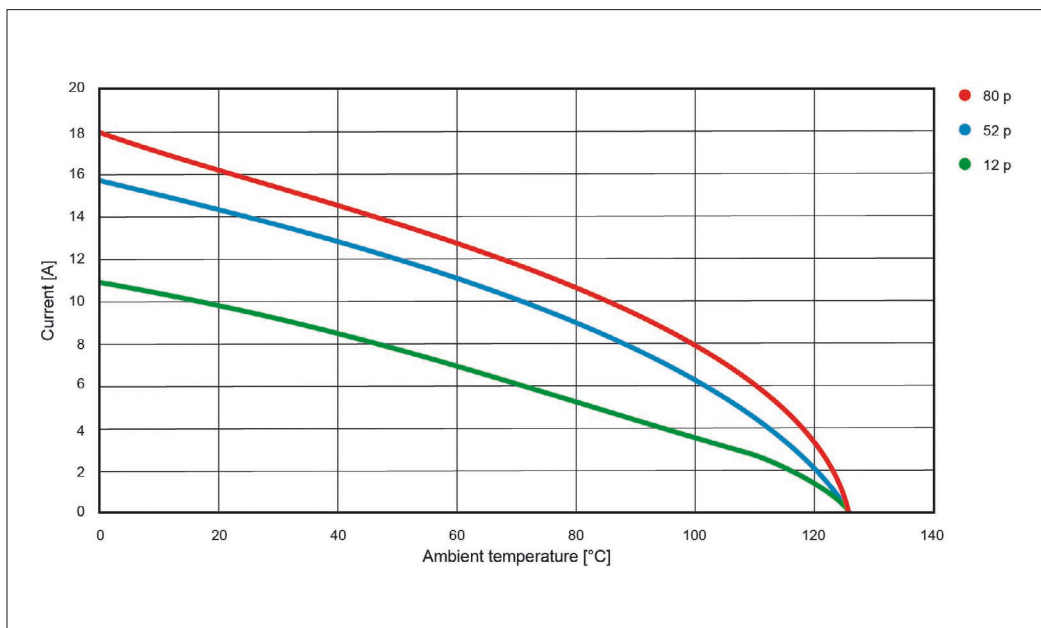


Bild 4: Strombelastbarkeit pro Zero8-Schirmblech

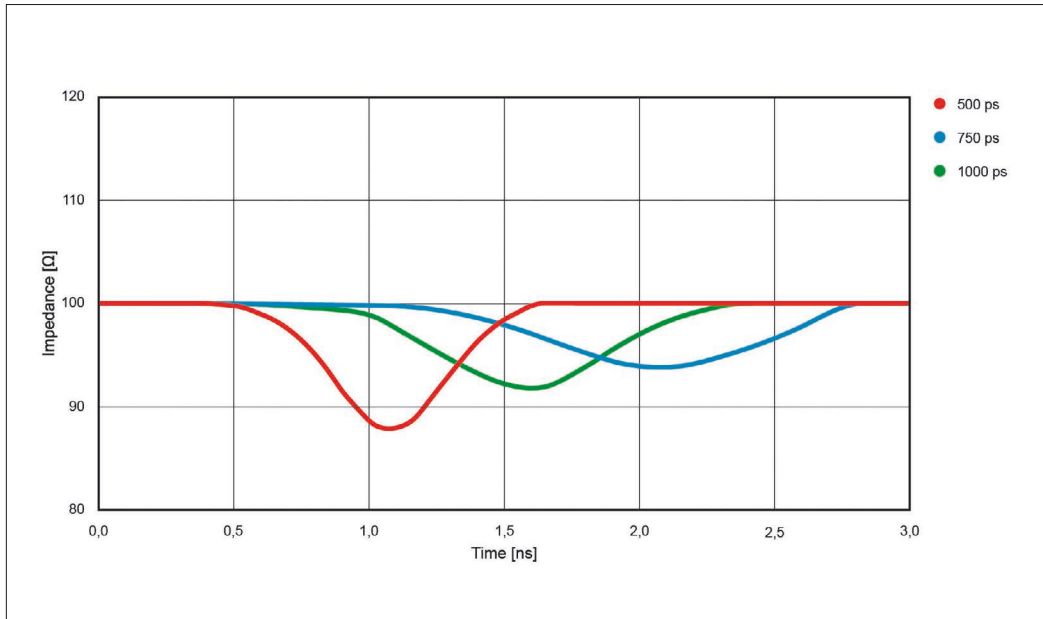


Bild 5: Impedanzverlauf des Zero8 in Abhängigkeit der Rise Time

gelassenem zu einfallendem Signal wieder. Hierzu ein Beispiel: Zieht man als Kriterium für die Datenrate des Steckverbinders Zero8 einen typischen Wert der Einfügedämpfung von -3 dB heran, ergibt sich bei 11 GHz eine Übertragungsgeschwindigkeit von 22 Gbit/s. Eine Einfügedämpfung von -3 dB entspricht einem Signalverlust von 30 % bzw. einem Leistungsverlust von 50 % (Bild 6).

Highspeed: Einflussmöglichkeiten beim Steckverbinder

Verluste in der Signalübertragung lassen sich demnach durch einen gleichmäßigen Impedanzverlauf minimieren. Über die Höhe der Leitungsverluste entscheiden dabei Pinquerschnitt und -material. Überstehende Leitungselemente können darüber hinaus als Antennen wirken und zu unerwünschten Resonanzen führen.

Die besondere Herausforderung im Design von Highspeed-Steckverbindern liegt daher in der Steuerung ihrer Impedanz. Diese wird von induktiven und kapazitiven Eigenschaften bestimmt, welche wiederum von Größe, Anordnung und Design der Pins abhängen. Im besten Fall sollte ein Steckverbinder eine auf die Applikation angepasste Impedanz haben – in der Regel 85 oder 100 Ohm.

Die Signalintegrität kann außerdem durch Dielektrika beeinflusst

werden, welche sich auf die Signalausbreitung auswirken. Somit spielt die Verwendung eines geeigneten Isolierkörpermaterials nicht nur für die Höhe der Stromtragfähigkeit, sondern auch für die Qualität der Signalübertragung eine entscheidende Rolle.

Die Kombination von Stromtragfähigkeit und Highspeed

Die Verwendung eines Steckverbinders zur simultanen Strom- und

Signalübertragung? Was zunächst widersprüchlich klingt, ist durchaus umsetzbar: Voraussetzungen hierfür sind die geeignete Materialbeschaffenheit von Isolierkörper und Pins, sowie die Kontaktgeometrie mit geringen Querschnittsänderungen. Sind diese Kriterien erfüllt, können bei der richtigen Pinbelegung in einem Steckverbinder sowohl hohe Ströme als auch HF-Signale übertragen werden.

Hierzu ist es empfehlenswert, die äußeren Kontakte zur Strom-

übertragung zu nutzen und diese über zusätzliche Groundkontakte von den differentiellen Paaren zur Signalübertragung zu separieren. Durch diese Separierung werden sowohl elektromagnetische Einflüsse der Stromübertragung auf die Signalübertragung vermieden, als auch eine verbesserte thermische Verteilung realisiert. Zusätzlich können die Lötflächen der Boardlocks sowie die Schirmbleche mit den Powerkontakten zusammengefasst werden und als zusätzliche Kühlkörper fungieren.

Auf diese Weise können Highspeed und Stromtragfähigkeit durchaus miteinander kompatibel sein. Darüber hinaus bietet es entscheidende Vorteile, auf zusätzliche Steckverbinder zur Stromübertragung zu verzichten: So können unnötige Kosten, beispielsweise durch doppelte Materialbeschaffung, Freigabeschleifen und Lagerung ebenso eliminiert werden wie der Risikofaktor, der durch mangelnden Toleranzausgleich verschiedener Steckverbinder zueinander entsteht. In Zeiten zunehmender Miniaturisierung ein weiterer Pluspunkt: Entwickler sparen sich kostbaren Bauraum in ihrer Anwendung. Hohe Ströme und Highspeed-Signale zugleich – alles eine Frage des Steckverbinder-Designs. ◀

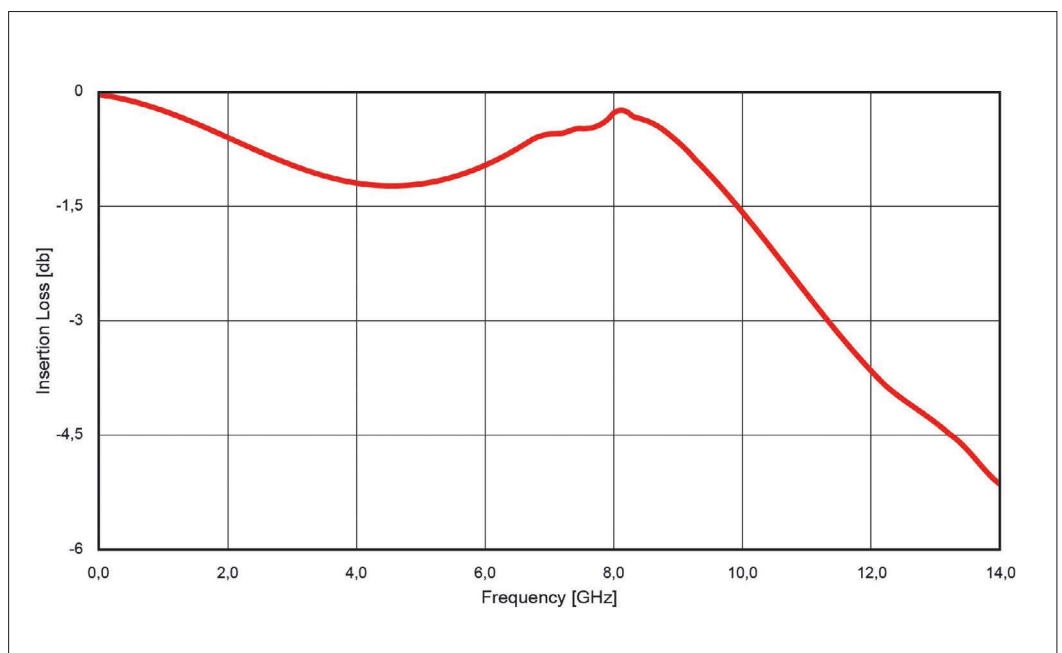


Bild 6: Insertion Loss in Abhängigkeit der Frequenz am Beispiel des Zero8