



Platinen für hohe Frequenzen

Impedanzkontrollierte Leiterplatten – eine Einführung*

Noch vor wenigen Jahren waren impedanzkontrollierte Leiterbahnen nur Spezialanwendungen vorbehalten. Heute sind sie in allen Bereichen der Leiterplattenanwendungen zu finden – von der Backplane bis zur Hochfrequenzschaltung. Der Markt impedanzkontrollierter Leiterplatten wächst rasant und man rechnet mit einem Anteil von 70 Prozent am Gesamtvolumen innerhalb weniger Jahre.



Die größten Treiber für impedanzkontrollierte Leiterplatten sind Anwendungsbereiche der Telekommunikation sowie der Computer- und Radartechnologie, da sie sehr hohe Signalfrequenzen verarbeiten. Elektronikentwickler spezifizieren kontrollierte Impedanzen auf Leiterplatten, wenn die Anstiegszeiten kürzer als 1 Nanosekunde oder Analogsignale mit Frequenzen über 300 MegaHertz übertragen werden. Dadurch sind Leiterbahnen nicht länger nur einfache Verbindungen. Doch was genau ist eine kontrollierte Impedanz?

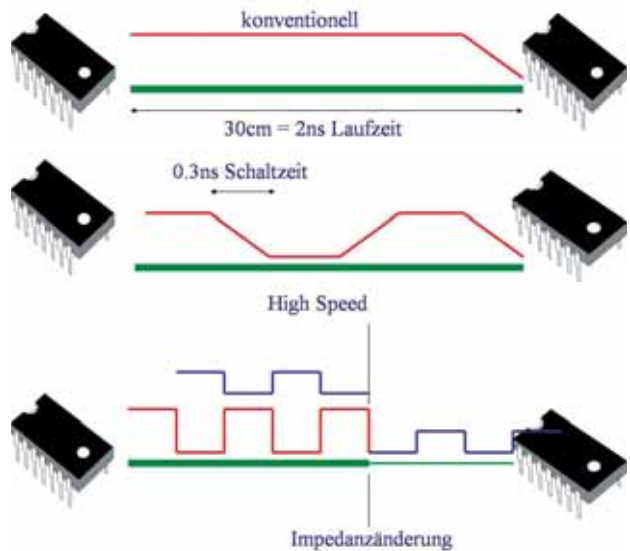
Eigentlich ist der Begriff „kontrollierte Impedanz“ eine nicht ganz zutreffende Übersetzung von „controlled impedance“, was soviel bedeutet wie gesteuerte bzw. definierte Impedanz. Die charakteristische Impedanz einer Leiterbahn wird durch deren Abmessung und durch die Eigenschaft des Basismaterials bestimmt. Um die Impedanz zu beeinflussen, variieren die Hersteller die Leiterbahnbreite, um Basismaterialschwankungen zu kompensieren.

Sie kommt bei hohen Frequenzen zum Einsatz, wo sich eine Leiterbahn nicht mehr wie eine ohmsche Verbindung zwischen zwei Punkten verhält, wodurch die Leitung zum funktionalen Bestandteil einer Schaltung wird. Aufgrund der ständig steigenden Signalfrequenzen und der immer kürzeren Pulsanstiegszeiten verhält sich die Leiterbahn wie ein Bauteil – sie wird zur Übertragungsleitung. Das elektrische Ersatzschaltbild einer verlustlosen Übertragungsleitung setzt sich aus einer Serienschaltung von Induktivitäten (dem Induktivitätsbelag in Henry/Meter) und einer Parallelschaltung von Kapazitäten (dem Kapazitätsbelag in Farad/Meter) zusammen.

Kontrollierte Impedanz

Bis vor einigen Jahren betrug die elektrische Wellenlänge des zu übertragenden Signals noch ein Vielfaches der mechanischen Länge der Leiterbahn. Aufgrund der steigenden Frequenzen und kürzeren Pulsanstiegszeiten liegt mittlerweile die elektrische Wellenlänge in der gleichen Größenordnung wie die Leitungslänge und ab Erreichen der so genannten kritischen Leitungslänge muss eine Leiterbahn mit einem definierten Wellenwiderstand ausgestattet werden, um die Funktion der Schaltung zu gewährleisten. In **Tabelle 1** sind die kritischen Leiterbahnlängen aufgelistet.

Bei der konventionellen Signalübertragung liegt das elektrische Signal konstant über der gesamten Leiterbahnlänge an. Hingegen beträgt bei einer High-Speed-Signalübertragung die Schaltzeit des Bauteils nur mehr einen Bruchteil der elektrischen Laufzeit des Signals auf der Leitung – es bilden sich daher Wellenpakete aus. Kommt es entlang der Leiterbahn zu Störungen durch Impedanzänderungen, beispielsweise durch Leiterbreitenänderungen, so tritt an dieser Stelle eine teilweise Reflexion des Signals auf und ein Teil der elektrischen Welle läuft zum Sender zurück und überlagert sich mit der vorlaufenden Welle. Die korrekte Funktion der Schaltung ist



Während bei der konventionellen Signalübertragung das elektrische Signal konstant über der gesamten Leiterbahnlänge anliegt (Bild Oben), bilden sich bei der High-Speed-Signalübertragung Wellenpakete aus (Bild Mitte). Im Falle von Impedanzänderungen, etwa durch Änderungen der Leiterbreite, so wird das Signal teilweise reflektiert (Bild Unten).

nicht mehr sichergestellt. Um diese Störungen entlang der Leitung zu vermeiden, muss die Leiterbahn mit einem definierten Wellenwiderstand – einer kontrollierten Impedanz – ausgestattet werden.

Impedanzanpassung

Um die reflexionsfreie Signalübertragung in einem elektrischen Übertragungssystem sicher zu stellen, gilt in der Hochfrequenztechnik die Forderung nach Impedanzanpassung. Darunter versteht man, dass Signalquelle, Übertragungsleitung und Empfänger den gleichen Wellenwiderstand aufweisen. In Hochfrequenzsystemen wird die impedanzangepasste Übertragungsleitung häufig durch Koaxialkabel realisiert. Da diese Kabel jedoch auch auf der Leiterplatte eine entsprechende impedanzangepasste Fortsetzung finden müssen, wird vom Leiterplattenentwickler, CAD-Layer und Leiterplattenhersteller zunehmend gefordert, auch die Leiterplatten mit definierten Impedanzen auszustatten.

Wie wird eine impedanzkontrollierte Struktur auf einer Leiterplatte realisiert? Bei einem Koaxialkabel wird der Wellenwiderstand durch die geometrischen Abmessungen von Innenleiter, Schirmung und der Dielektrizitätskonstante des Isolators bestimmt. Führt man die koaxiale Struktur in eine planare Struktur einer Leiterplatte über, so gilt ebenfalls, dass die Impedanz durch Leiterbreite, Lagenabstand, Querschnitt der Leiterbahn und →

Auf einen Blick

Sichere Signalintegrität

Durch die rasante Technologieentwicklung werden die Taktfrequenzen immer höher, weshalb impedanzkontrollierte Leiterplatten mittlerweile in vielen Bereichen zum Einsatz kommen: Sie sollen die Signalintegrität bei der Übertragung hoher Frequenzen sicherstellen. Eine enge Zusammenarbeit mit dem Leiterplattenhersteller ist daher erforderlich.

Kritische Leiterbahnlänge

Logikfamilie	Schaltzeit	Kritische Länge l
S-TTL	5,0 ns	36 cm
10KECL	2,5 ns	18 cm
AS-TTL	1,9 ns	14 cm
F-TTL	1,2 ns	9 cm
PCI Bus	0,7 ns	5 cm
10KHECL	0,7 ns	5 cm
100KECL	0,5 ns	3,5 cm
GaAs	0,3 ns	2 cm

Quelle: Polar Instruments

elektronik JOURNAL

Ist der Leitungsweg größer als die kritische Länge, so sind die Signalwege als Wellenleiter, d.h. mit einer definierten Impedanz auszuführen. Dabei sind Hin- und Rückweg zu beachten.

der Dielektrizitätskonstante des Basismaterials festgelegt wird. Derzeit werden in der Leiterplattentechnik über 80 verschiedene impedanzkontrollierte Strukturen eingesetzt, wobei zwischen unsymmetrischen und differentiellen Strukturen unterschieden wird. Unsymmetrische Strukturen werden auch als „Single Ended“ bezeichnet und sind das Äquivalent zur Koax-Leitung. Bei der unsymmetrischen Struktur weist die Leiterbahn eine definierte Impedanz zu einer oder



Die größten Treiber für impedanzkontrollierte Leiterplatten sind Anwendungsbereiche der Telekommunikation sowie der Computer- und Radartechnologie, da sie sehr hohe Signalfrequenzen verarbeiten.

mehreren benachbarten Bezugsflächen auf. Besitzt die Leitung nur eine Bezugsfläche, so bezeichnet man diese als Microstrip. Weist die Leitung zwei Bezugsflächen auf, so spricht man von einer Stripline.

Aufgrund der höheren Störsicherheit und den damit noch höheren erzielbaren Übertragungsgeschwindigkeit werden auch differentielle Strukturen eingesetzt. Bei einer differentiellen Struktur weisen zwei parallel laufende Leiter zueinander eine definierte Im-

Interview mit Christian Ranzinger und Hermann Reischer

Nur noch Impedanzen?

Die Leiterplatte ist nicht mehr nur eine einfache Verbindungsstruktur, sondern ein entscheidender Teil der gesamten Schaltungsumgebung. Impedanzkontrollierte Leiterplatten werden in vielen Bereichen eingesetzt, um die Signalintegrität bei der Übertragung hoher Frequenzen sicherzustellen. Christian Ranzinger, Leiter Technologie von Contag, Berlin und Hermann Reischer, Geschäftsführer von Polar Instruments, Amstetten, Österreich, geben Auskunft.

Impedanzdefinierte Leiterplatten zählen mittlerweile zum Standard in der Leiterplattenfertigung. Doch wer benötigt wirklich solcherlei Platinen?

Christian Ranzinger: Die Impedanz-Technik ist für unsere Kunden nicht mehr nur ein Muss, sondern ist bei vielen Entwicklungen bereits eine Standardanforderung geworden. Die Gründe hierfür sind in der Erhöhung der Taktraten in Bereichen der Hochfrequenz- und Digitaltechnik zu finden.
Hermann Reischer: Immer höhere Signalfrequenzen und kürzere Schaltzeiten der Bausteine erfordern die exakte Einhaltung der vorgegebenen Impedanzwerte.

Worauf ist bei der Herstellung impedanzkontrollierter Platinen zu achten?

Hermann Reischer: Ziel ist es, korrekte Impedanzwerte reproduzierbar zu fertigen und somit den Ausschuss und die Kosten zu minimieren. Durch den Einsatz von hochgenauen 2D-Field-Solver-Simulationsprogrammen im CAM-Bereich und entsprechender Messausrüstung im elektrischen Test wird die Einhaltung der vorgegebenen Impedanzwerte sichergestellt.



Christian Ranzinger von Contag



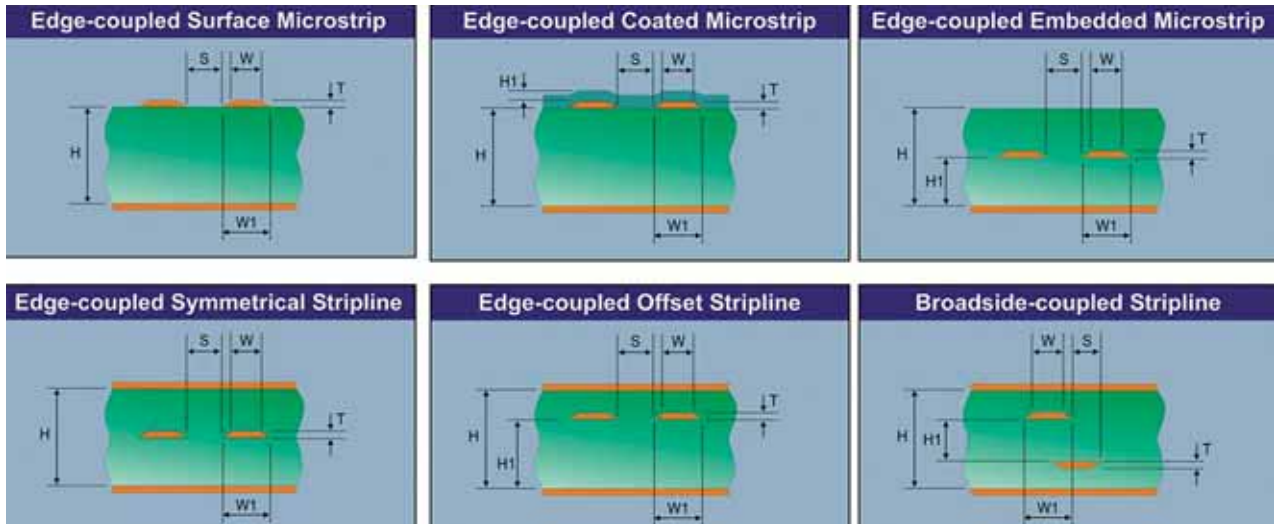
Hermann Reischer von Polar Instruments

Christian Ranzinger: Da die Impedanz von der Leiterbahngeometrie bestimmt wird, muss der Leiterplattenhersteller Dickentoleranzen des Basismaterials und der Kupferfolie durch eine Anpassung der Leiterbreite kompensieren. Dies erfordert viel Erfahrung und genaue Kenntnis der Einflussgrößen im Produktionsprozess. Wir fertigen schon seit Jahren impedanzdefinierte Schaltungen und bieten auch einen Fullservice an: Von der technischen Beratung und technischen Prüfung bis hin zur Fertigung und Messung der produzierten Leiterplatten bieten wir alles aus einer Hand an.

Die Miniaturisierung schreitet voran und damit auch die Taktzeiten der schnellen Bauelemente. Wie wirkt sich das auf die weitere Entwicklung der Leiterplatte Ihrer Meinung nach aus?

Hermann Reischer: In den nächsten Jahren werden die Anforderungen an die Leiterplatte weiter steigen. Neben der Impedanz werden in Zukunft auch Leiterbahndämpfung, dielektrische Verluste und Skineffekt eine wichtige Rolle spielen. Dies erfordert zusätzliche Simulations- und Testwerkzeuge, deren Bereitstellung unser oberstes Ziel ist.

Die Fragen stellte Marisa Robles Consée



Beispiele differentieller Strukturen: Stets weisen zwei parallel laufende Leiter eine definierte Impedanz zueinander auf

pedanz auf. Typische Vertreter von differentiellen Signalübertragungen sind USB, Ethernet, PCI Express, Rocket IO, XAUI, etc. Abhängig von den Impedanzanforderungen und Platzverhältnissen auf der Leiterplatte werden auch Sonderformen eingesetzt, wie zum Beispiel koplanare und differentiell koplanare Modelle. Bei koplanaren Strukturen wird zusätzlich zu einer oder zwei Bezugslagen auch noch eine seitlich neben der Leiterbahn verlaufende Massefläche als Bezug verwendet.

Der Wellenwiderstand von impedanzkontrollierten Strukturen wird mittels so genannter 2D-Field-Solver-Software ermittelt. Field-Solver sind der derzeitige Stand der Technik für die Impedanzberechnung und bieten eine Rechengenauigkeit von 1 bis 2 Prozent, eine korrekte Eingabe der Leiterbahngeometrie vorausgesetzt. Der Field-Solver modelliert die elektrische Feldverteilung in der Umgebung der Leiterbahn und berechnet daraus die Ladung, den Kapazitätsbelag und die Impedanz der Leitung. Spezielle iterative Zielsuchfunktionen erlauben die Eingabe des gewünschten Impedanzwertes und die Er-

mittlung der erforderlichen Leiterbreite. (Christian Ranzinger von Contag und Hermann Reischer von Polar Instruments / rob)

✓ **infoDIREKT** www.elektronikjournal.de 344ejl2608
 Link zu Contag, **Halle 9, Stand 429**; Link zu Polar Instruments

ⓘ **VORTEIL** Impedanzkontrollierte Leiterplatten werden in vielen Bereichen eingesetzt, um die Signalintegrität bei der Übertragung hoher Frequenzen sicherzustellen

*Im Zusammenhang mit der weiteren technologischen Spezialisierung in der Fertigung impedanzdefinierter Schaltungen beleuchten der Hersteller von Leiterplatten-Prototypen Contag und der Messsystemhersteller Polar Instruments die Impedanzdefinition und Impedanzkontrolle in einer Fachartikel-Serie. Insgesamt vier Fachbeiträge sind in den nächsten Ausgaben von elektronikJOURNAL nachzulesen: Im Heft 07/2008 werden Polar Instruments und Contag auf die Impedanzdefinition beim Elektronikhersteller, speziell beim CAD-Layouther, Prozesse beschreiben.