

## Leiterplatten

### Definierte Impedanzen

#### Was Entwickler bei impedanzkontrollierten Leiterplatten beachten müssen

31.03.2008 | Autor: Christian Gärtner\*

**Wer bei impedanzkontrollierten Leiterzügen sehr enge Toleranzgrenzen vorgibt, wird in der Praxis eines besseren belehrt: Nicht alles was theoretisch gefordert ist, lässt sich produzieren. Wer also in puncto Kosten und Qualität auf der sicheren Seite sein will, vertraut auf die Expertise eines auf diesem Gebiet erfahrenen Leiterplattenherstellers.**



Impedanzkontrollierte Leiterzüge am Beispiel der „Leiterplatte 2010“

Telecom-Applikationen, Video-Signalverarbeitung und Hochgeschwindigkeits-Datenverarbeitung, Anwendungen mit Echtzeit-Grafik sowie Prozesssteuerung setzen Leiterplatten mit definierten Impedanzen voraus. Um die maximalen Signalleistungen zwischen den Bauteilen zu übertragen, sind Impedanzanpassungen an den Schnittstellen erforderlich.

Fehlanpassungen der Impedanzen verursachen Reflexionen, wodurch nicht die maximale Leistung übertragen oder sogar die Signalübertragung vollständig unterbrochen wird. Das Ergebnis: die theoretisch entwickelte Leiterplatte wird hergestellt und bestückt, doch die Schaltung funktioniert letztendlich nicht.

„Diese Kostenaspekte und weitere Gründe sprechen dafür, sich mit dem Thema Impedanzen und impedanzkontrollierter Leiterplatten auseinanderzusetzen. Es führt kein Weg daran vorbei, die Impedanzzusammenhänge von Schaltungen zu betrachten und zu

berücksichtigen sowie Möglichkeiten zu schaffen, um die theoretisch errechnete Funktion der Schaltung zu gewährleisten. Die Übersicht veranschaulicht die unterschiedlichen Klassen, Typen und Varianten von Impedanzen, aus deren Kombination sich viele verschiedene Strukturen ergeben können.



„Die Forderung nach kontrollierten Impedanzen bei der Herstellung von Leiterplatten besteht schon seit geraumer Zeit. Auf die Prüfung wurde allerdings seitens der Anwender bisher kaum Wert gelegt. Die Jenaer Leiterplatten GmbH (JLP) hat sich dem Thema Impedanzen, einschließlich der Einhaltung der vorgegebenen Parameter aus dem Design und der Umsetzung in der Fertigung angenommen. Seit anderthalb Jahren beschäftigen sich die Thüringer Leiterplattenspezialisten intensiv mit Impedanzen und impedanzkontrollierten Leiterplatten.

„Am Anfang stand die Frage, welche Faktoren die Impedanz beeinflussen und wie diese fertigungstechnisch behandelt werden müssen. Eine Auswahl an Impedanz bestimmenden Faktoren ist in der folgenden Übersicht dargestellt.

Weiterhin ist aus dieser Darstellung ersichtlich, bei welchen Faktoren eine Anpassung von Seiten des Leiterplattenherstellers notwendig ist und nach Rücksprache vollzogen wird.

Die Berechnung kontrollierter Impedanzen erfolgt bei JLP mit Hilfe der Field-Solver-Software der Firma Polar. Häufig vorzufindende Formeln zur Bestimmung der Leiterbahnabmessungen für bestimmte Impedanzwerte liefern nur Näherungswerte und ermöglichen keine genauen Ergebnisse für Leiterplatten nach heutigem Stand der Technik.

### Viele verschiedene Faktoren beeinflussen die Fertigungsergebnisse

Ausgangspunkt für die Fertigung von impedanzkontrollierten Leiterplatten ist eine Berechnung der Nominalwerte für Leiterbreite und Laminatstärke für einen spezifischen Impedanzwert. In den ersten Testphasen wurden tatsächlich realisierte Impedanzen mit den theoretisch errechneten verglichen. Um die Abweichungen der Fertigungsergebnisse den Berechnungen anzunähern, ist es notwendig Schritt für Schritt die relevanten Kompensationswerte zu eruiieren.

Die wichtigsten die Impedanz beeinflussenden Faktoren sind die Leiterzugsbreite und die Laminatstärke bzw. der Lagenabstand, der als Isolator fungiert. Die Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r$  ist von Kernmaterial zu Kernmaterial unterschiedlich. Laminathersteller sichern für ein Kernmaterial gleichbleibende Eigenschaften zu. Hinzu kommen noch der Kupferaufbau und der Lötstopplack bei bestimmten Varianten der Impedanzen.

Ausschließlich durch eine Vielzahl von Testdurchläufen konnten die Experten die verschiedenen Kompensationswerte in die Berechnung der theoretischen Impedanz aufnehmen. Somit konnte der Fertigungsprozess dementsprechend spezifiziert und reproduzierbare Verhältnisse für die Fertigung von impedanzkontrollierten Leiterplatten abgeleitet werden.



„Die Kenntnis über die Impedanz beeinflussenden Parameter garantiert allerdings noch nicht die Funktionsfähigkeit einer Schaltung und das Erreichen der gewünschten bzw. geforderten Impedanz. Durch die fertigungstechnischen Varianzen und Toleranzen bei der Herstellung von Leiterplatten und vor allem durch die vom Hersteller nicht zu beeinflussenden Toleranzen ist eine standardisierte Fertigung von impedanzkontrollierten Leiterplatten nicht möglich.

Diese zwangsläufigen Besonderheiten bringen erhebliche Abweichungen von Standardabläufen mit sich.

### Spezieller Ablauf bei Aufträgen mit Impedanzanforderungen

Aus diesem Grund gibt es in Jena für Kundenaufträge mit Impedanzforderungen in der internen Organisation eine besonderen Behandlung. Im Vorfeld der Fertigung sind besondere Prüfungen und Abstimmungen notwendig. Die Anforderungen hinsichtlich Messung und Berechnung der Impedanz, die Forderung eines Prüfprotokolls, die Behandlung des Messcoupon sowie besondere Anforderungen bestimmen schon zum Zeitpunkt der Kundenanfrage den Fertigungsdurchlauf. Anhand der Vorgaben wird die geeignete Materialauswahl aus den vorhandenen oder beschaffbaren Materialbeständen getroffen und der realisierbare Lagenaufbau (Stack-Up) ermittelt.

Eine entscheidende Besonderheit beim Basismaterial stellt die Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r$  dar. Bei gleichem Material können sich unterschiedliche Ergebnisse für das  $\epsilon_r$  ergeben. Zum einen sind unterschiedliche Werte bei verschiedenen Chargen möglich und zum anderen gibt es ebenso Differenzen bei Kernen und Prepregs. Anhand der Datenblätter der Materialhersteller gibt es zum Teil große Unterschiede zwischen Theorie und Praxis. Weiterhin verändert sich die Dielektrizitätskonstante bei unterschiedlichen Frequenzen.

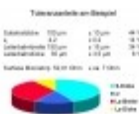
Ein weiteres Problem ist noch die Toleranz bei der Materialqualität und Maßhaltigkeit des Basismaterials. Schon geringfügige Toleranzen führen bei der Veränderung des Stack-Up zu Varianzen der Impedanz. Eine Korrektur der Parameter durch den Leiterplattenhersteller ist somit unumgänglich, um die gewünschte Impedanz zu erzielen. Die Toleranzen des Kern- bzw. Basismaterials kann der Leiterplattenhersteller generell nicht beeinflussen. Allein durch die Korrektur von verschiedenen Einflußgrößen und durch Erfahrungswerte lassen sich die geforderten Ergebnisse erzielen.

### Im Vorfeld der Fertigung sind Prüfungen und ggf. Layoutkorrekturen nötig

Weitere Überprüfungen im Vorfeld der Fertigung erfolgen hinsichtlich Leiterzugsbreiten, Separation, Dielektrikumsabstände sowie Line and Space. Unter Beachtung der Produktions- und Materialtoleranzen müssen ggf. Anpassungen in Form von Weitungen oder Korrektur des Layouts und Stack Up vorgenommen werden. Nur durch diese Anpassungen, die aus dem kontinuierlichen Lernprozess resultieren, können für jede Leiterplatte reproduzierbare Fertigungsverhältnisse geschaffen werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist zum einen, das auf dem Fertigungspanel überall gleiche Verhältnisse vorliegen müssen. Zum anderen spielt die Panel-Auslastung eine entscheidende Rolle. Dieser nicht zu unterschätzende Punkt spiegelt sich auf der Kostenseite und auch in der Qualität wider. Der Grund: Die Leiterplatten sollten unter gleichen Verhältnissen hergestellt werden und zusätzlich muss auch der Testcoupon integriert werden. Ein Testcoupon ist die Nachbildung der geforderten Impedanz mit entsprechenden Leiterzugsbreiten und Lagenabständen. Er bietet die einzige Möglichkeit die simulierte Impedanz der Leiterplatte zu messen.

Ein anderer bereits erwähnter Einflußfaktor auf die theoretisch berechnete Impedanz ist die Lötstopmmaske. Diese kann je nach Lackart eine Veränderung der Dielektrizitätskonstante hervorrufen. Je nach Dicke der Lötstopmmaske sind Impedanzverluste über mehrere Ohm möglich.



Ebenfalls ein nicht zu unterschätzender Faktor ist die Schichtdickenverteilung nach dem Aufkupfern. Ein Vorteil für die Jenaer Leiterplatten GmbH stellt hier die angewendete Tenting-Technologie mit dem Panelplating dar. Hierbei lassen sich Schichtdickentoleranzen von  $\pm 5 \mu\text{m}$  realisieren.

Beim Erstellen des Leiterbildes spielen ebenfalls Toleranzen durch den Ätzprozess eine wichtige Rolle. Der Zusammenhang von Schichtdicke, Ätzgeometrie und Grad der Unterätzung muss verstanden und beherrscht werden. Vor diesem Hintergrund wird im Sinne einer permanenten Qualitätskontrolle in Jena bei allen Innen- und Außenlagen eine 100%-Prüfung der Leiterzugsbreiten und -abstände mit Hilfe eines Laser-AOI der Firma Orbotech durchgeführt.

Nicht zu unterschätzen sind weiterhin die Toleranz der theoretischen und praktischen Prepreg-Stärke und die daraus resultierenden Dickentoleranzen nach dem Verpressen, die sich wiederum auf die Dielektrikumsabstände auswirken. Wenn gewünscht kann bei JLP eine 100%-Panelprüfung und eine 100%-Coupon-Archivierung erfolgen. Dies garantiert eine sichere Rückverfolgbarkeit.

### Der entscheidende Faktor ist die Stabilität der Fertigungsprozesse

Die Abhandlung lässt schnell erkennen, dass für die technische Realisierbarkeit Kompromisse im Rahmen der erlaubten Toleranzen unausweichlich sind. Der entscheidende Faktor für qualitativ hochwertige Leiterplatten mit definierten Impedanzen ist die Stabilität und das Beherrschen des Fertigungsprozesses sowie die Kenntnis über die Besonderheiten der einzusetzenden Materialien. Allein die vielen Toleranzen bei den Materialien bringen eine gewisse Abhängigkeit des Leiterplattenherstellers von den Lieferanten des Basismaterials mit sich. Hinzu kommen noch die Toleranzen im Fertigungsprozess sowie zusätzlich ein geringer Messfehler beim Ermitteln der Impedanz.

Ergo: Nicht alle theoretischen Anforderungen lassen sich in der Praxis umsetzen. Oft ist es unumgänglich die CAD-Daten für die Fertigung zu korrigieren. Bei Differenzen und notwendigen Anpassungen erfolgt in jedem Fall eine Rücksprache mit dem Kunden und dessen Freigabe. Es setzt also Kompromissbereitschaft des Anwenders voraus, um ein gutes Ergebnis zu erzielen. Zeit und Kosten spart, wer sich hinsichtlich der technischen Möglichkeiten vor der Fertigung mit dem Leiterplattenhersteller abstimmt.

Die enge Zusammenarbeit und Kooperation von JLP mit der Firma Polar hat vor allem in der Anfangsphase zu einem schnellen Verständnis für impedanzkontrollierte Leiterplatten geführt. Zudem hat das konsequente Auseinandersetzen mit Impedanzen und die

Herstellung von impedanzkontrollierten Leiterplatten einen langfristigen Lern- und Erfahrungsprozess in Gang gesetzt. Mit noch sicherem Beherrschen des Fertigungsprozesses und dem Verständnis für bestimmte technologische Zusammenhänge, können die simulierten theoretischen Resultate in der Praxis reproduzierbar umgesetzt werden. Die so gewonnenen neuen Erfahrungen führen letztendlich dazu, dass alle Leiterplatten auf einem konstanten und noch höheren Qualitätsniveau hergestellt werden können.

\*Christian Gärtner ist Verkaufsleiter bei der Jenaer Leiterplatten GmbH.

Redakteur: Claudia Mallok

Die Beiträge auf dieser Website sind urheberrechtlich geschützt. Bei Fragen zu den Nutzungsrechten wenden Sie sich bitte an [manuela\\_maurer@vogel-medien.de](mailto:manuela_maurer@vogel-medien.de) oder Tel.: 0931-418-2888.

**Bildergalerie**



Messplatz für impedanzkontrollierte Leiterplatten bei Jenaer Leiterplatten



Impedanzmessgerät der Firma Polar im Einsatz beim Leiterplattenhersteller Jenaer Leiterplatten

**Impedanz-Beschreibung**

Klassen	Typen	Varianten
Single Ended		
Differentiell	<b>Microstrip</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Surface Microstrip</li> <li>→ Surface coated Microstrip</li> <li>→ Embedded Microstrip</li> </ul>
Coplanar		
Differentiell-Coplanar	<b>Stripline</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Single Stripline</li> <li>→ Dual Stripline</li> </ul>

Aus Kombinationen ergeben sich viele verschiedene Strukturen

Aus der Kombination der unterschiedlichen Klassen, Typen und Varianten von Impedanzen ergeben sich verschiedene Strukturen

Faktor		Kunde	JLP	Mat.Eigenschaften
Leiterbreite	Layout	V	K	---
Separation	Layout	V	K	---
Kupferdicke	PCB-Stackup	V	K	Basis-Kupfer
Lagenabstand	PCB-Stackup	V	K	Materialstärken
$\epsilon_r$ -Wert	Material	---	---	Ja
Lötstopp	Layout+Material	V	K	Ja ( $\epsilon_r$ - Wert)

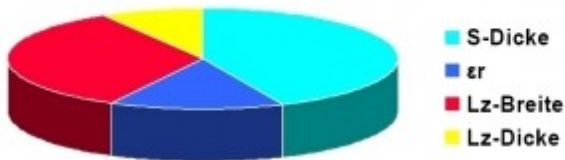
V = Vorgabe, K = Korrektur wenn nötig (Kundenrücksprache)

Verschiedene Faktoren einflussen die Impedanz. Bestimmte Faktoren muss der Leiterplattenhersteller anpassen.

### Toleranzanteile am Beispiel

Substratdicke	100 $\mu\text{m}$	$\pm 10 \mu\text{m}$	44 %
$\epsilon_r$	4,2	$\pm 0.2$	14 %
Leiterbahnbreite	150 $\mu\text{m}$	$\pm 15 \mu\text{m}$	34 %
Leiterbahndicke	35 $\mu\text{m}$	$\pm 3,5 \mu\text{m}$	8 %

Surface Microstrip 52,01 Ohm  $\pm$  ca. 7 Ohm



Die Tortengrafik verdeutlicht die verschiedenen Toleranzanteile an einem Beispiel

Dieses PDF wurde Ihnen bereitgestellt von <http://www.elektronikpraxis.vogel.de>