LeiterplattenAkademie

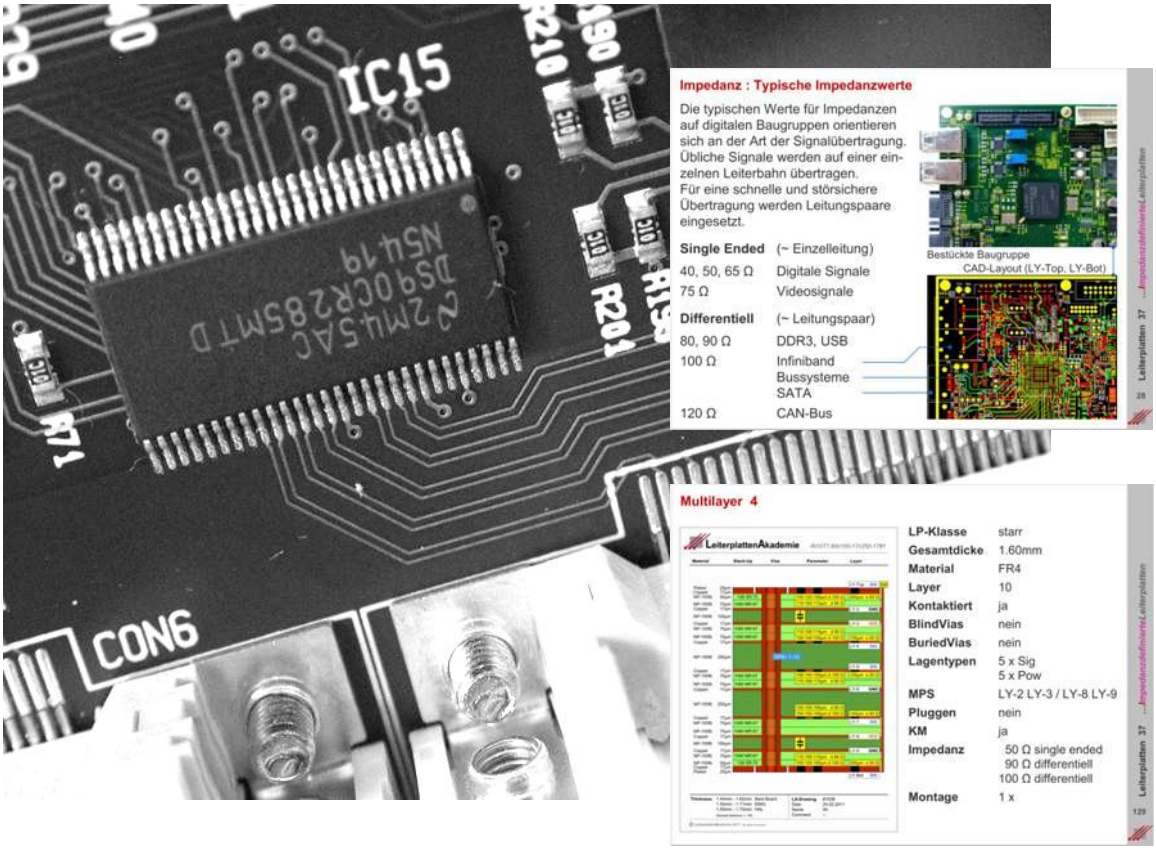
Arnold Wiemers

Seminar und Tutorial

Leiterplatten 37

...ImpedanzdefinierteLeiterplatten

Analyse und Charakteristik
von Impedanzen auf Leiterplatten



Wer wird mit dem Seminar und Tutorial "Leiterplatten 37 *...ImpedanzdefinierteLeiterplatten*" angesprochen ?

Das Halbtagsseminar und Tutorial informiert über die technischen Hintergründe, die zur Forderung impedanzdefinierter Leiterplatten respektive Multilayern führen. Die Kenntnis der Nomenklatur der elementaren Impedanzgeometrien sichert die stabile Kommunikation zwischen dem CAD-Konstrukteur und dem Leiterplattenhersteller.

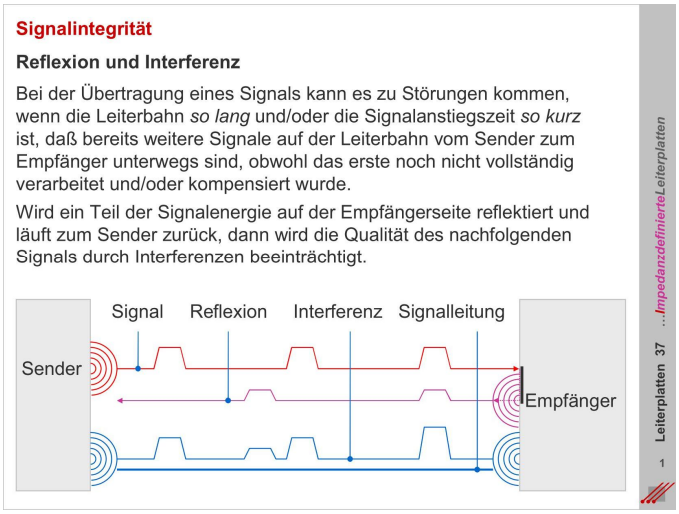
Highspeed-Baugruppen werden ohne die Beachtung der physikalischen Parameter für die Übertragung von Signalen auf Leiterplatten die Anforderungen an das Leistungsspektrum nicht erfüllen können.
Die Impedanz einer Leiterbahn ist ein zuverlässiger Wert, der von allen Partnern bewertet, vorausberechnet und nachgeprüft werden kann.

Für die **Konstrukteure elektronischer Baugruppen** und die ***CAD-Designer/innen*** sind die detaillierten Kenntnisse zur Umsetzung von Impedanzen auf Leiterplatten eine Voraussetzung für die Planung und Durchführung eines dokumentierten Designs.

"**Leiterplatten 37** ***...ImpedanzdefinierteLeiterplatten***" erläutert die zu erfüllenden Voraussetzungen für die Planung, Konstruktion und Fertigung von Highspeed-Baugruppen. Referenz und Ziel ist die praktische Integration impedanzgerechneter Moduln in einen Multilayeraufbau.
Die praktischen Beispiele ermöglichen das Erlernen der zu beachtenden Parameter für die Impedanzberechnung.
Das Tutorial zur Impedanzthematik inklusive der praktischen Berechung üblicher Impedanzmoduln schafft Transparenz und erleichtert das Verständnis für die Anforderungen an die Funktion von Baugruppen.

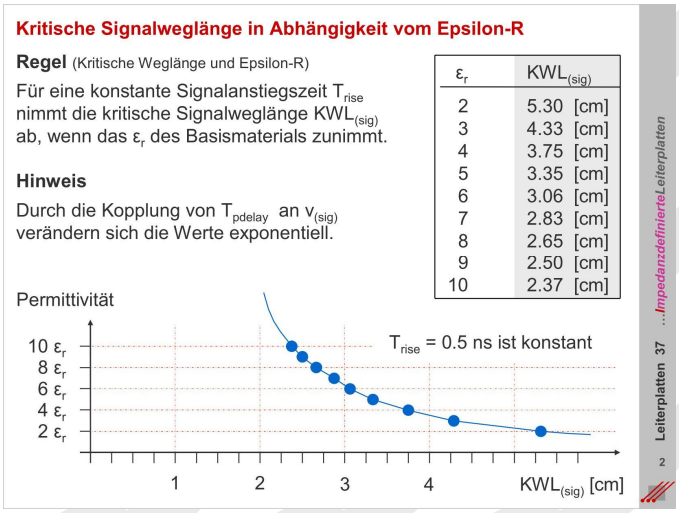
Das Seminar ist auch für ***CAM-Bearbeiter/innen*** der LP-Hersteller von Bedeutung, weil es die Zusammenhänge zwischen der Funktion einer Baugruppe und der Fertigung von Leiterplatten erläutert.
Es fördert damit auch das partnerschaftliche Miteinander auf der Linie "CAD - CAM - Leiterplatte - Baugruppe".

Die Darstellung des Themas ist interessant für alle ***Entscheidungsträger im Bereich Design und Leiterplatte***, deren Aufgabe es ist, das Produkt "Baugruppe" führend und beratend zu begleiten.



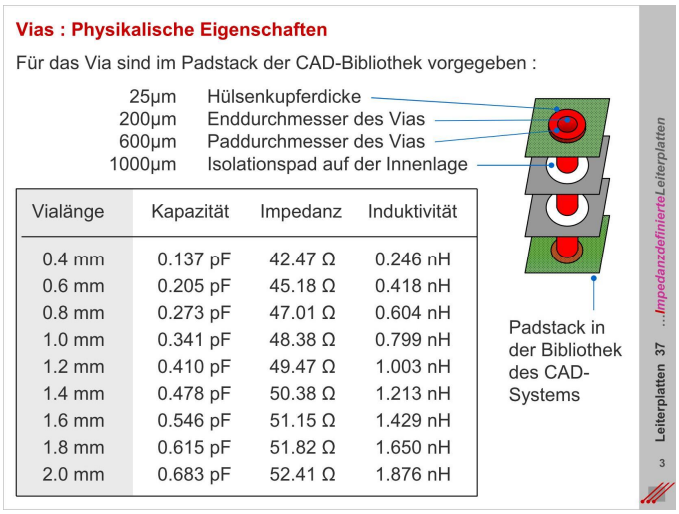
Signalübertragung

Allgemeine Hintergründe zu High-speed-Leiterplatten und -Baugruppen. Anforderungen an die Signalübertragungsqualität. Reflexion und Interferenzen als Störquelle. Auswirkungen der Signalanstiegszeit (signal rise time) auf das CAD-Design.



Kritische Weglängen

Auswirkung der kritischen Weglängen auf den Signaltransfer. Abhängigkeit der Weglänge von der Permittivität/dem Dielektrikum des Basismaterials.
Kopplung der Signallaufzeit (propagation delay) an das Basismaterial der Leiterplatte.



Vias

Physikalische Eigenschaften von Vias für den Lagenwechsel von Leiterbahnen.
Berechnung der Kapazität, Impedanz und Induktivität in der realen Umgebung auf Multilayern.
Parameterintervalle in Abhängigkeit von der Vialänge.

Signalgeschwindigkeit

Beispiel (Signalgeschwindigkeit)

Vorgegeben ist eine relative Permittivität von 4.10 bei einer Frequenz von 1GHz. Referenz ist FR4 des Typs NP-155 der Fa. NanYa.

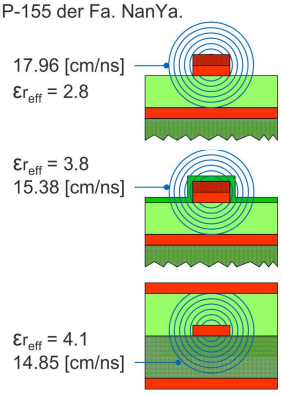
Die relative Permittivität muß sich an der effektiven Permittivität bzw. der effektiven Dielektrizitätseigenschaft orientieren, die sich aus den Geometrien der Lagenaufbaumoduln ergibt.

Für Leiterbahnen, die in ein homogenes Umfeld aus FR4 eingebettet sind, ist die Geschwindigkeit :

$$v_{sig\,(FR4)} = \frac{30}{\sqrt{4.1}} \quad [cm/ns]$$

$$= \frac{30}{2.02} \quad [cm/ns]$$

$$= 14.85 \quad [cm/ns]$$



Leiterplatten 37 ...ImpedanzdefinierteLeiterplatten 4

Signalgeschwindigkeit

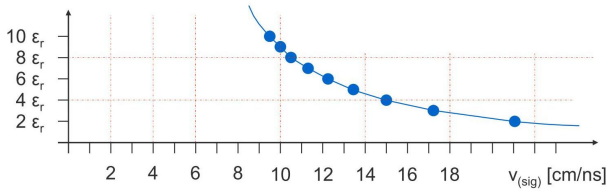
Einflußsphären um Leiterbahnen. Effektive Signalgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Positionierung einer Leiterbahn innerhalb eines Multilayersystems.
Funktionale Beziehungen zwischen der Permittivität des Basismaterials und der Signalübertragung.

Signalgeschwindigkeit : Einfluß der Permittivität

Hinweis (Permittivität und Signalgeschwindigkeit)

Der Wert für die Geschwindigkeit "c" elektromagnetischer Wellen ist mit zirka 30cm/ns praktisch konstant.
Damit ist die Übertragungsgeschwindigkeit eines Signals nur von der Permittivität des Trägermaterial abhängig. Weil das ε_r im Bruch als *Nenner* auftritt, folgt, daß die Übertragungsgeschwindigkeit abnimmt, wenn die Permittivität zunimmt. Weil aus dem ε_r die Wurzel gezogen wird, folgt, daß die Veränderung der Geschwindigkeit nicht linear sondern *exponentiell* erfolgt.

$$v_{(sig)} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad \frac{[cm]}{[ns]}$$



Leiterplatten 37 ...ImpedanzdefinierteLeiterplatten 5

Permittivität

Physikalische Eigenschaften des Basismaterials und ihr Zusammenhang zur Übertragungsgeschwindigkeit (propagation delay).
Grenzwerte. Signalanstiegszeiten in Abhängigkeit von der eingesetzten Logikfamilie.

Signalgeschwindigkeit : Basismaterialeigenschaften

Material	Hersteller	Substrat	Tg	ε_r (1GHz)	$v_{(sig)}$ [cm/ns]
NP-155f	NanYa	FR4	150	4.10	**14.85**
Duraver 114	Isola	FR4	150	4.40	**14.29**
MC100	Matsushita	FR4	125	4.10	**14.85**
Duraver CE	Isola	CE	230	3.30	**16.48**
Duramid CE-Cu	Isola	CE	200	3.00	**17.44**
TMM6	Rogers	Keramik	n.d.	6.20	**12.05**
TMM10i	Rogers	Keramik	n.d.	10.0	**9.49**
Ro4003	Rogers	Glas/Keramik	200	3.58	**16.13**
Ro4350	Rogers	Glas/Keramik	280	3.68	**15.62**
D5880	Rogers	Teflon/PTFE	n.d.	2.20	**20.27**
D6002	Rogers	Teflon/PTFE	n.d.	2.94	**17.54**
D6006	Rogers	Teflon/PTFE	n.d.	6.15	**12.10**
Ultralam2000	Rogers	Teflon/PTFE	n.d.	2.50	**18.99**
Duraver P97	Isola	Polyimid/G30	260	4.40	**14.29**

Leiterplatten 37 ...ImpedanzdefinierteLeiterplatten 6

Basismaterial

Diverse Basismaterialien für die Konstruktion von Highspeed-Multilayern.
Materialklassen auf der Basis von FR4, Keramik, PTFE und Polyimid.
Hersteller und Produkte für Sondermaterialien.
Signalgeschwindigkeiten.

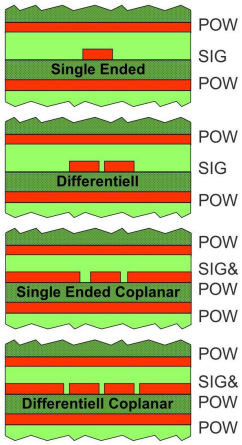
Nomenklatur : Impedanzklassen

Insgesamt werden vier **Impedanzklassen** unterschieden :

Single Ended
Differentiell
Single Ended Coplanar
Differentiell Coplanar

Bei “Single Ended”-Impedanzen wird das Signal auf *einer* Leitung übertragen.
Bei “Differentieller”-Impedanz wird das Signal über ein *gekoppeltes* Leitungspaar übertragen.

Nur die Klassen “Single Ended” und “Differentiell” sind wirklich elementar.
Bei den coplanaren Strukturen wird die Signalleiterbahn zusätzlich zu den benachbarten Potentiallayern auch auf dem Signallayer in das Referenzpotential eingebettet.



Impedanzklassen

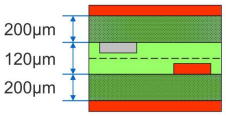
Nomenklatur für die Beschreibung von Impedanzen auf unterschiedlichen geometrischen Moduln. Single Ended, differentielle und coplanare Geometrien. Impedanzen vom Typ Microstrip und Stripline. Erläuterungen zur Kombination von Signal- und Powerplanes.

Impedanzmodul : Single Ended Dual Stripline

Beispiel (Impedanz : Single Ended Dual Stripline)

Zwei 200µm-Laminate sind mit zwei 1080er-Prepregs verpreßt. Bei einer Leiterbahnbreite von 200µm und einer Kupferdicke von 17µm ergibt sich eine rechnerische Impedanz von 49.8 Ω. Bei vorgegebener Modulgeometrie läßt sich die Impedanz über die Leiterbahnbreite modifizieren.

Material FR4 Tg135
Epsilon-R 4.3
Prepregs 2 x 1080 SR



Leiterbreite	Kupferdicke 5µm	17µm	35µm
300µm	42.1 Ω	40.4 Ω	38.4 Ω
200µm	52.3 Ω	49.8 Ω	47.0 Ω
150µm	59.7 Ω	56.6 Ω	53.0 Ω
120µm	65.5 Ω	61.8 Ω	57.6 Ω
100µm	70.3 Ω	66.0 Ω	
80µm	76.1 Ω		

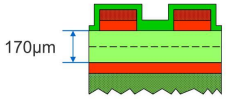
Regel (Identische Geometrien) Wenn die Geometrie und das Dielektrikum zweier Impedanzmoduln in einem Multilayersystem identisch sind, dann sind auch die resultierenden Impedanzwerte identisch.
Deshalb können konfektionierte Impedanzmoduln vorberechnet werden.

Impedanzmoduln 1

Erklärung der Parameter für die Berechnung von Impedanzmoduln. Vorberechnete Impedanzmoduln für die Konstruktion von Highspeed-Baugruppen.
Reale Varianten unter Beachtung der Technologien für die industrielle Fertigung von Leiterplatten.

Impedanzmodul : Moduln für den CAN-Bus (~ 120 Ω)

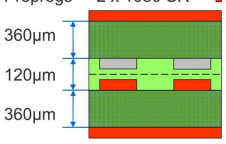
Material FR4 Tg135
Epsilon-R 4.3
Prepregs 1 x 1080 SR
1 x 2116 SR



Differential Surface Coated Microstrip

Leiterbreite	Leiterabstand	Kupferdicke (incl. DK) 30µm	42µm	60µm
300µm	450µm	92.8 Ω	91.2 Ω	89.2 Ω
200µm	450µm	112.7 Ω	110.3 Ω	107.3 Ω
175µm	450µm	119.3 Ω	116.6 Ω	113.2 Ω
175µm	375µm	117.0 Ω	114.3 Ω	110.1 Ω
150µm	375µm	124.4 Ω	121.2 Ω	117.2 Ω
150µm	275µm	118.9 Ω	115.5 Ω	111.2 Ω

Material FR4 Tg135
Epsilon-R 4.3
Prepregs 2 x 1080 SR

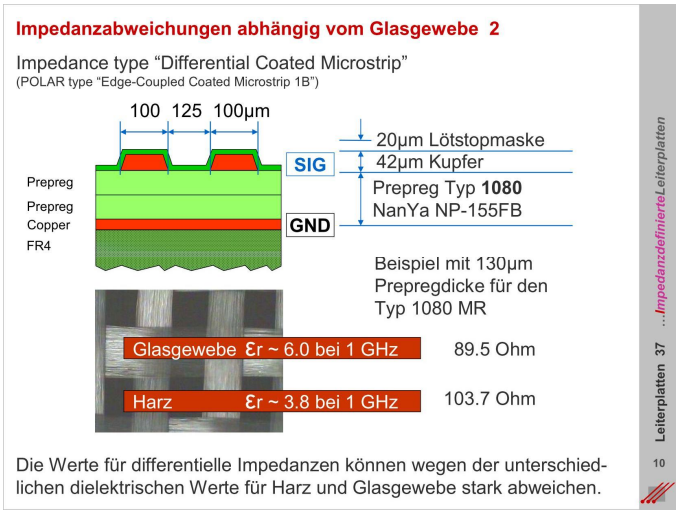


Differential Dual Stripline

Leiterbreite	Leiterabstand	Kupferdicke 5µm	17µm	35µm
300µm	450µm	104.1 Ω	100.1 Ω	95.3 Ω
200µm	450µm	123.4 Ω	117.9 Ω	111.4 Ω
175µm	450µm	129.8 Ω	123.7 Ω	116.5 Ω
175µm	375µm	125.9 Ω	119.7 Ω	112.6 Ω
150µm	375µm	133.2 Ω	126.1 Ω	118.1 Ω
150µm	275µm	124.9 Ω	117.8 Ω	109.8 Ω

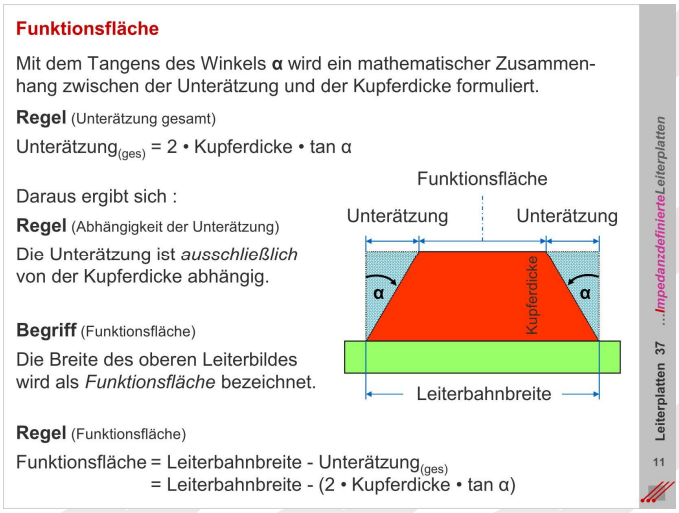
Impedanzmoduln 2

Vorberechnete Impedanzmoduln für die Single Ended und Differentielle Signalübertragung.
Beispiele für Dual Stripline sowie coplanare Moduln.
Berechnungen für LVDS, FPGA, USB, DDR3-RAM, CAN-Bus und Videosignale.



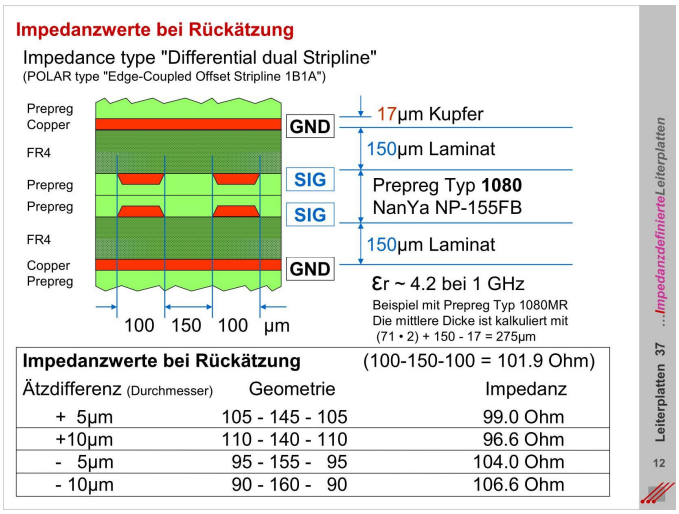
Basismaterial

Grundeigenschaften von Prepregs. Laufzeitverzögerungen durch ungeeignete Glasgewebe bei differentiellem Signaltransfer. Gewebetypen und Prepregvarianten mit unterschiedlicher Harzdicke. Impedanztoleranzen abhängig vom Harzgehalt und vom Preßprozeß.



Rückätzung

Die Leiterbildstrukturierung als bestimmender Produktionsabschnitt für die Toleranz eines angestrebten Impedanzwertes. Definition der Rück- und Unterätzung des Leiterbildes über die Formulierung des Ätzwinkels (tan α). Berechnung im Vorfeld einer Multilayerkonstruktion.



Impedanzwerte bei Rückätzung		(100-150-100 = 101.9 Ohm)
Ätzdifferenz (Durchmesser)	Geometrie	Impedanz
+ 5µm	105 - 145 - 105	99.0 Ohm
+10µm	110 - 140 - 110	96.6 Ohm
- 5µm	95 - 155 - 95	104.0 Ohm
- 10µm	90 - 160 - 90	106.6 Ohm

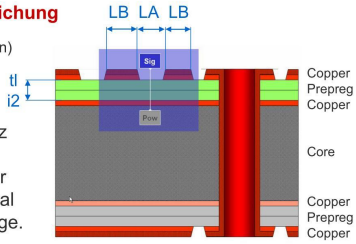
Fehlerrechnung

Berechnung von Impedanzabweichungen in Referenzmoduln. Lötstoplack und Bestückungsdruck als beeinflussende Faktoren. Unregelmäßige Impedanzen in Abhängigkeit von der Ätzmechanik. Querschnittsprofile, Flankenwinkel und Funktionsflächen.

m.n-Format : Impedanzabweichung

Fehlerabschätzung (Interpolation)

Ein (LVDS-)Leiterbahnpaar soll eine differentielle Impedanz von 100 Ohm haben.
Die Leiterbahnen liegen auf der Außenlage, das Bezugspotential ist die nächstgelegene Innenlage.



Abstände LB/LA/LB [µm]	Abstand tl-i2 [µm]	Fehler bei einer Interpolation von +/- 10 µm Ohm	Fehler bei einer Interpolation von +/-20 µm Ohm
175-175-175 µm	220 µm	-1.8 / + 1.6 = 3.4	-3.6 / + 3.2 = 6.8
125-125-125 µm	220 µm	-3.1 / + 2.9 = 6.0	-6.4 / + 3.5 = 9.9
100-100-100 µm	120 µm	-3.3 / + 3.0 = 6.6	-7.2 / + 5.6 = 12.8
75- 75- 75 µm	100 µm	-5.3 / + 4.3 = 9.6	-11.5 / + 8.1 = 19.6

Mit der Reduzierung der Leiterbahnbreiten nimmt die Abweichung zu.

Leiterplatten 37 ...ImpedanzdefinierteLeiterplatten 13

Datenformat

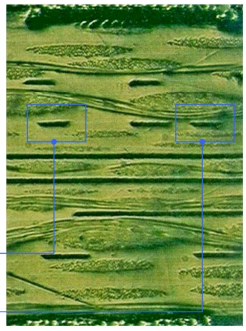
CAD-Postprozeß und Datatransfer. Impedanztoleranzen mit Bezug zur Koordinatenauflösung.

Interpolationen wegen eines nicht ideal gewählten m.n.-Formates als Fehlerquelle für eine deutliche Abweichung von der Zielimpedanz .

Impedanztoleranz : FR4-Basismaterial

Die klassische Produktion von Multilayern aus FR4-Material ist in eine Umgebung von Standardtoleranzen eingebunden. Material- und prozeßtypische Abweichungen vom idealen vorabberechneten Impedanzwert müssen bei der Planung einer Baugruppe in Betracht gezogen werden.

FR4-Basismaterial Durch die Kombination von Glasgewebe (…ε_r von 6.0) und Epoxydharz (…ε_r von 3.8) orientiert sich die Impedanz einer Leiterbahn an deren Position innerhalb des Materialverbundes. Für eine Leiterbahn vom Typ "Single Ended" beträgt die Toleranz +,- 2.5 Ohm bei einem Zielwert von 50 Ohm.



Einbettung der Leiterbahn vornehmlich in einer *Epoxydharz*-Umgebung.

Einbettung der Leiterbahn in einer *Glasgewebe*-Umgebung.

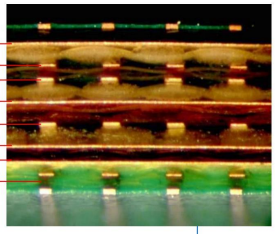
Leiterplatten 37 ...ImpedanzdefinierteLeiterplatten 15

Fertigungstoleranz 1

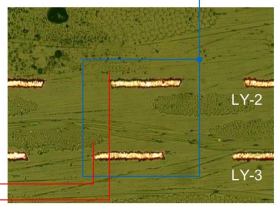
Basismaterial als vorrangige Einflußgröße auf die Stetigkeit einer Impedanz.
Akzeptable und nicht akzeptable Abweichungen mit Referenz zu Geweben und Harzverfüllungen.
Toleranzintervalle. Grenzen der Leistungsfähigkeit von FR4.

Vertikaler Lagenversatz bei einem Multilayer

Das Schliffbild durch den 10-Lagen-Multilayer zeigt einen Versatz der Kerne K1 (LY-2, LY-3) und K2 (LY-4, LY-5) zueinander.
Die beiden Leiterbahnen für die differentielle Signalübertragung sind auf den sich gegenüberliegenden Layern LY-3 und LY-4 dieser beiden Kerne in Z-Achsen-Richtung geroutet.



Die Toleranzen beim Registrieren und Stanzen der Innenlagen vor dem Verpressen, bei der Aufnahme der Innenlagen im Preßwerkzeug und das Driften der Lagen während des Verpressens haben einen (…zusätzlichen) Einfluß auf die Toleranz der Impedanz des Leiterbahnpaares.

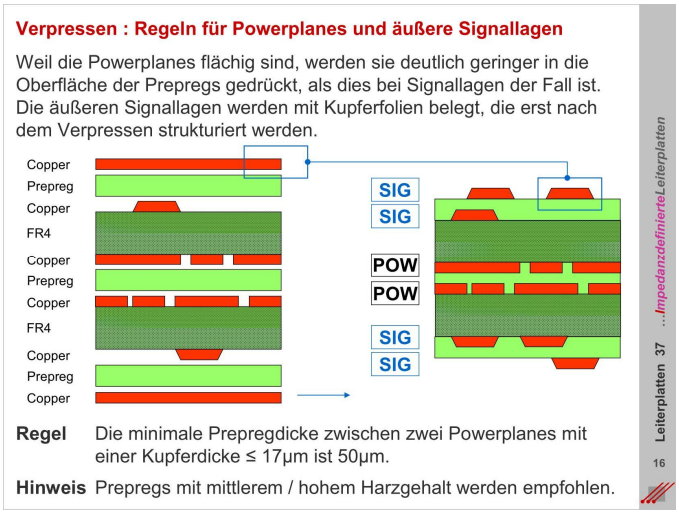


30µm Abweichung sind akzeptabel.

Leiterplatten 37 ...ImpedanzdefinierteLeiterplatten 14

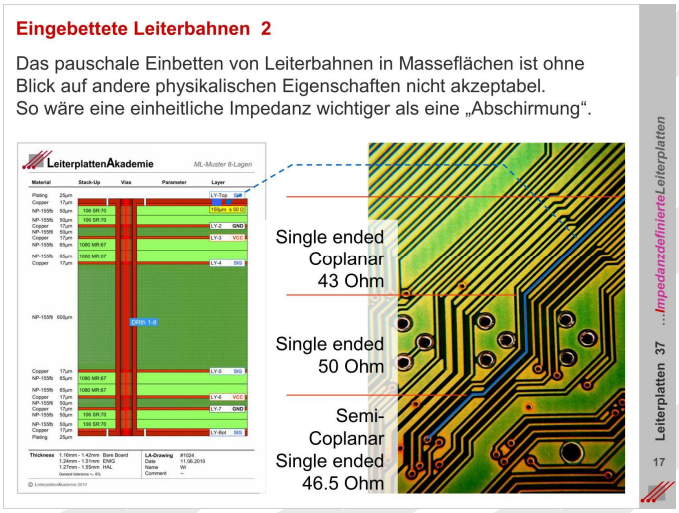
Fertigungstoleranz 2

Fertigungsbedingte Abweichungen.
Abweichender Lagenabstand und Registrierversatz durch das Verpressen von Multilayern.
Der Einfluß des Kontaktierens und Ätzens auf den Impedanzwert.
Kupferdickenabhängige Blendenkompensation.



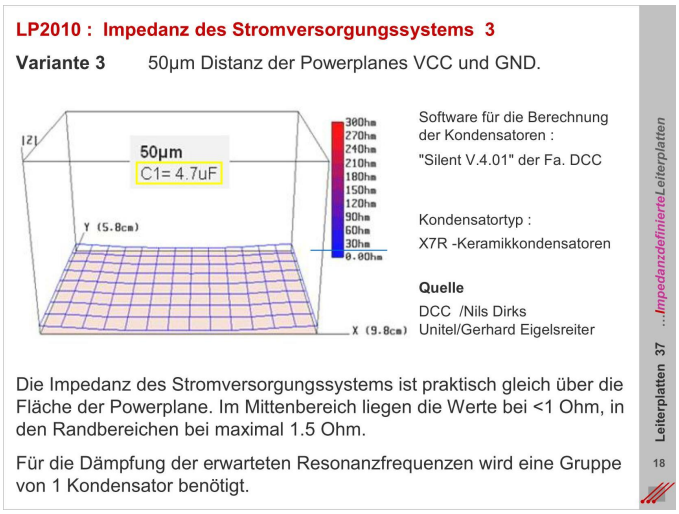
Lagenaufbau

Grundregeln für die Konstruktion impedanzdefinierter Multilayer. Mindestabstände für den Lagenaufbau zwischen Signal- und Powerplanes. Variable Signal-Ground-Abstände durch die unterschiedliche Eindringtiefe des Leiterbildes in das Harz der Prepregs.



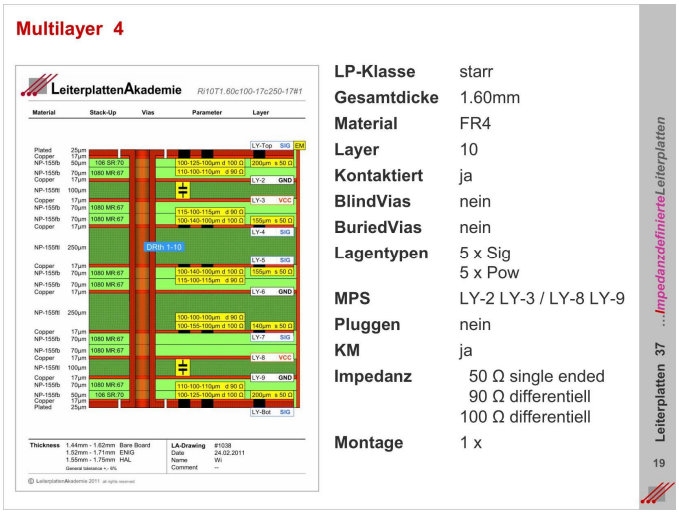
Kritische Impedanzmoduln

Eingebettete Leiterbahnen als Fehlerquelle.
Zukünftige Impedanzmoduln mit reduzierten Geometrien für das Leiterbild und mit minimalen Lagenabständen. Falsche und richtige Verteilung der Qualitäten SIG, GND und VCC in einem Multilayer.



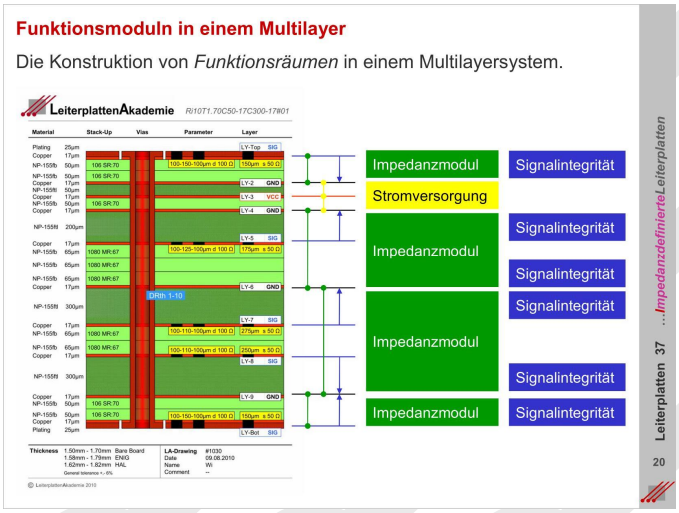
Multipowersysteme

Niederimpedante Konstruktion von Stromversorgungssystemen.
Der Einfluß der Abstände zwischen den Powerplanes auf die Funktion des Multilayersystems.
Gerechnete Kondensatorgruppen zur Dämpfung von Resonanzfrequenzen.



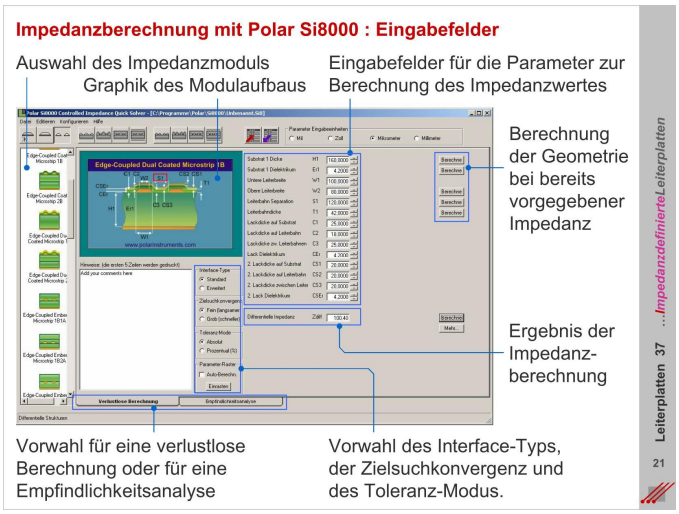
Dokumentation

Dokumentation von Multilayeraufbauten als Garant für eine zuverlässige Reproduktion von Leiterplatten in verschiedenen Chargen bei verschiedenen Herstellern. Kennzeichnung von Impedanzen im Lagenaufbau. Filesyntax als kommunikatives Ordnungssystem.



Multilayersysteme

Strategische Aspekte für die Konstruktion impedanzdefinierter Multilayersysteme.
Die Zuordnung von Rückströmen zu Signalintegritätsmoduln.
Die Integration von Impedanz- und Stromversorgungsmoduln in die Aufbausystematik eines Multilayers.



Tutorial (Impedanz)

Übungen zur Impedanzberechnung mit dem Softwareprogramm Si8000 von Polar Instruments.
Auswahl geeigneter Geometrien.
Parametrisierung der Berechnung.
Toleranzberechnungen. Mögliche Fehlerintervalle abschätzen können.

Ihr Referent

Arnold Wiemers Seit 1980 selbstständig als Softwareentwickler für die Kalkulation, den Fertigungsablauf und die Fertigungsleitsteuerung von Leiterplatten.

Ab 1983 angestellter Geschäftsführer für den Fachbereich CAD der ILFA GmbH, Aufbau der CAM in den 1990er Jahren und ab 2000 Technologieberatung für komplexe Leiterplatten.

Seit 2009 Mitinhaber und Technischer Direktor der LA-LeiterplattenAkademie GmbH mit Sitz in Berlin.

Diverse Fachveröffentlichungen. Referent für Seminare, Konferenzvorträge und Workshops zum Thema Leiterplattentechnologie (MFT, MPS, Impedanz, Multilayersysteme, Designregeln, Gerber, LP2010).
Mitarbeit am Schulungskonzept der entsprechenden Fachverbände.
Vom IPC zertifizierter CID, CID+, CIS 6012, Tutor und Trainer. ZED.
Aktives Mitglied im AK-Design des ZVEI.
Förderung der Ausbildung an Berufs-, Fach- und Hochschulen.

Die LeiterplattenAkademie

Die Sicherung des Standortes Deutschland in Europa und der Erhalt der internationalen Wettbewerbsfähigkeit setzt sowohl die systematische als auch die kontinuierliche Qualifikation der Mitarbeiter/innen eines Unternehmens voraus.

Die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit einer Industriegesellschaft und ihre technologische Kompetenz am Weltmarkt wird (auch) durch die Qualität ihrer Elektronikprodukte bestimmt.

Das erfordert eine fachlich hochwertige Aus- und Weiterbildung.

Die zentrale Aufgabe der LeiterplattenAkademie ist, das Fachwissen aus den Bereichen der Schaltungsentwicklung, des CAD-Designs, der CAM-Bearbeitung, der Leiterplattentechnologie und der Baugruppenproduktion in Seminaren, Workshops und Tutorials zu vermitteln.

Seminare und Teilnahmegebühren

Das Seminar wird derzeit in der Kombination

> Leiterplatten 37 ...Impedanzdefinierte Leiterplatten: Analyse und Charakteristik von Impedanzen auf Leiterplatten
>
> Leiterplatten 24 ...Chemische Prozesse in der LP-Fertigung
>
> Leiterplatten 50 ...Basismaterial: Eigenschaften von Basismaterialien für die Produktion von starren, flexiblen und starrflexiblen Leiterplatten
>
> Leiterplatten 54 …LeiterplattenVerifikation: Strategien, Vorgaben und Möglichkeiten für die Verifikation von unbestückten Leiterplatten

als 2-Tages-Seminar unter dem Namen "Leiterplatten-Spezialwissen" durchgeführt.

Gebühren

Präsenz-Seminar: 890,00 € zzgl. MwSt. pro Person. Enthalten sind ausführliche Seminarunterlagen, das Teilnahmezertifikat, Mittagessen und Getränke.

Online-Seminar: 810,00 € zzgl. MwSt. pro Person. Enthalten sind ausführliche Seminarunterlagen und das Teilnahmezertifikat.

InHouse: Unser Seminar in Ihrem Haus

Für InHouse-Schulungen gestalten wir Ihnen gerne ein individuelles Angebot.

Wir freuen uns auf Ihre Anfrage an inhouse@leiterplattenakademie.de

LeiterplattenAkademie

Die LeiterplattenAkademie

Die LA - LeiterplattenAkademie GmbH ist eine Schulungs- und Weiterbildungseinrichtung für die Fachbereiche

Schaltungsentwicklung

CAD-Design

CAM-Bearbeitung

Leiterplattentechnologie

Baugruppenproduktion

Die Akademie versteht sich als Partner für öffentliche Einrichtungen und Unternehmen der Wirtschaft, die in vergleichbaren Feldern engagiert sind.

LA - LeiterplattenAkademie GmbH
Schlesische Str. 12
10997 Berlin

Telefon	(030) 34 35 18 99
eMail	info@leiterplattenakademie.de
Internet	www.leiterplattenakademie.de