

20. Kapitel / Arnold Wiemers

High-Speed-Multilayer

....Geschwindigkeit ist Alles ?

Der Weg ist das Ziel

Die Anforderungen an elektronische Baugruppen nehmen seit Jahren kontinuierlich zu. Im Prinzip ist die Diskussion um Highspeed-Baugruppen längst überfällig.

Wann spricht man von Highspeed-Baugruppen ?

Eine Baugruppe muß als High-Speed-Baugruppe klassifiziert werden, wenn die Übertragungsfrequenz über 1 GHz liegt, wenn die Datentransferrate 1 GBit/s überschreitet, vor allem aber, wenn die Signalanstiegszeiten deutlich unter 0.3 ns liegen.

Die zunehmende Leistungsfähigkeit integrierter elektronischer Komponenten hat einen massiven Einfluß auf die physikalischen Anforderungen an Leiterplatten. Die Konstruktion der Leiterplatten für Highspeed-Baugruppen muß deshalb (auch) strategische und funktionale Aspekte beachten.

Die Umsetzung der Anforderungen ist prinzipiell nur noch mit Multilayern ab 6 Lagen aufwärts machbar.

Für komplexere Baugruppen sind 10 bis 12 Lagen realistisch.

Diese Entwicklung führt uns direkt zu den bereits in einer früheren Folge erwähnten *Multilayersystemen* (Bild 20-1).

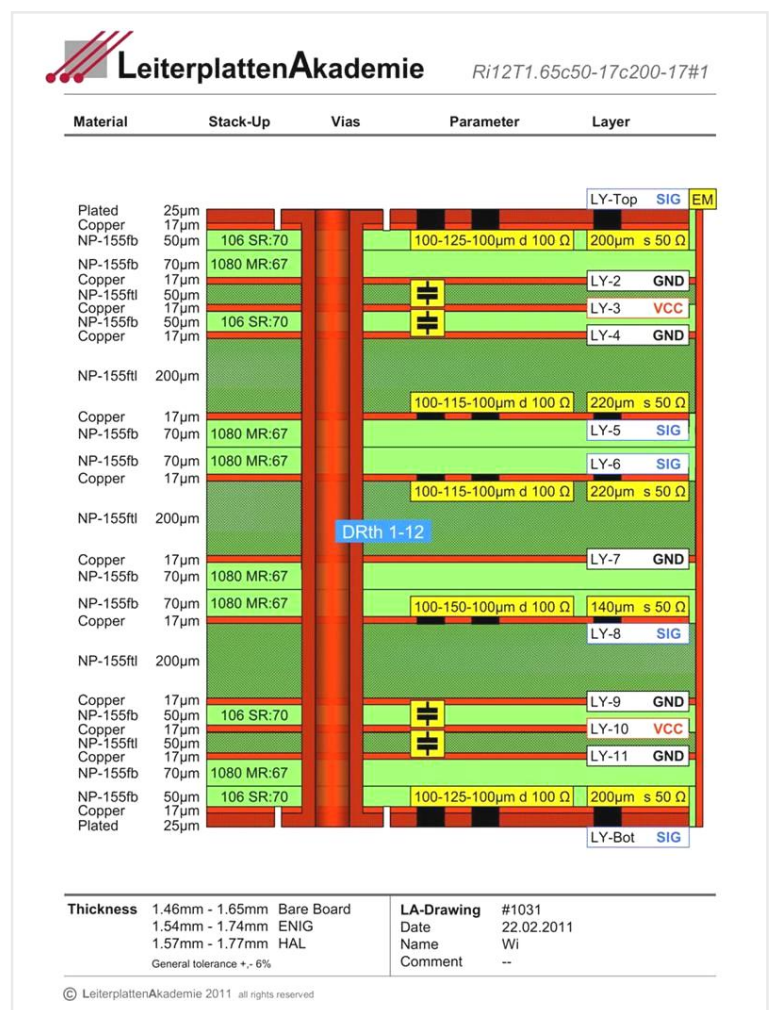


Bild 20-1 Multilayer für eine Highspeed-Baugruppe

Wo werden Highspeed-Baugruppen eingesetzt?

High-Speed-Baugruppen finden sich heute bereits in vielen Bereichen unseres täglichen Lebens. Dazu gehören Produkte und Geräte aus der Medizintechnik, der Luft- und Raumfahrt, der Sicherheitstechnik, der Verkehrstechnik, der Industrieelektronik, der Unterhaltungselektronik, dem Transportwesen, der Haustechnik und der Kommunikation.

Typisch ist eine Datenrate über 4 GBit/s für den Transport von Bildern, Videos, Musik und HDTV. Frequenzen über 15 GHz werden benötigt für die Sensortechnologie und für Fahrerassistenzsysteme (...beispielsweise das Abstandsradar).

Entscheidend ist jedoch, daß die High-Speed-Eigenschaft an die Bauteilkomponenten geknüpft ist. Der Trend bei der Entwicklung der integrierten Bauteile wird dazu führen, daß in wenigen Jahren *jede* digitale Schaltung die Highspeed-Bedingungen berücksichtigen muß.

Anforderung bei High Speed

Für die Konstruktion eines zuverlässig funktionierenden High-Speed-Multilayers müssen drei hochwertige Anforderungen beachtet werden.

Powerintegrität Die Spannungsversorgung der Baugruppe muß stabil und leistungsfähig sein. Die klassische Entkopplung der Schaltung muß durch den Einbau kapazitiver Powerplanes ersetzt werden. Die Abstände zwischen GND und VCC sollten maximal 100µm betragen, besser sind 75µm, *ideal* sind 50µm. Als Ergänzung können gerechnete Kondensatorgruppen (...bestehend aus minimal 1 bis maximal 4 Keramikkondensatoren) die breitbandige Entkopplung stabilisieren.

Signalintegrität Für alle Signalwege muß *immer* ein kontrollierter Rückstromweg zur Verfügung stehen. Die Realisierung dieser Forderung bedeutet üblicherweise den Einbau mehrerer GND-Planes und führt zwangsläufig zu höherlagigen Multilayern.

Mit der Signalintegrität ist auch die definierte Signallaufzeit verbunden, die hauptsächlich durch einen vorgegebenen Impedanzwert charakterisiert ist. Damit ergeben sich Vorgaben für die Abstände von Signal- und GND-Lagen innerhalb des Lagenaufbaus und für die Breite und den Querschnitt von Leiterbahnen.

Bei der Verteilung der Signale, der GND- und der VCC-Planes muß auf die verbindliche Zuordnung der Rückstromwege geachtet werden.

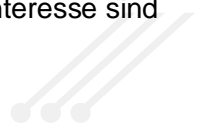
EMV Das interne und externe EMI-/EMV-Verhalten einer Baugruppe kann durch die Metallisierung der Leiterplattenkanten deutlich verbessert werden. Die Strategie dabei ist, für die Abschirmung des inneren Bereiches des Multilayers zu sorgen. Dazu werden innenliegende GND-Planes an die metallisierte Kanten ankontaktiert. Die so konstruierte Abschirmung vermeidet eine Störabstrahlung zum Nachteil benachbarter Baugruppen und reduziert die Störeinstrahlung zum Vorteil der eigenen Baugruppe.

Ein willkommener und sehr nützlicher Nebeneffekt ist die Wärmespreizung, die deutlich zur Kühlung der Baugruppe im Betrieb beiträgt.

Zuverlässigkeit und Basismaterialvarianz

Die physikalischen Eigenschaften von Leiterplatten werden weitgehend von den Eigenschaften der verbauten Basismaterialien bestimmt. (Fast) alle elektronischen Baugruppen basieren auf dem Basismaterial FR4. Durch die Integration der Geometrien, die am CAD-System konstruiert werden, ergibt sich die individuelle physikalische Funktion eines Multilayers.

Das Material der nächsten Jahre werden weiterhin FR4-Derivate sein. Von speziellem Interesse sind beim Aufbau eines Multilayers sind die Prepregs.



Die Bewertung der mechanischen Eigenschaften zeigt, daß bereits die Dickentoleranz eines einzigen Prepregs einen Einfluß auf das physikalische Verhalten eines Multilayers hat. Betroffen ist die Signalintegrität, da sich durch die Dickenänderung der Prepregs die kapazitiven Eigenschaften auf den benachbarten Lagen ändern. Das wirkt sich direkt auf die resultierenden Impedanzwerte der Signalleiterbahnen aus.

Ob die Abweichung zu einer vernachlässigbaren oder bereits zu einer schwerwiegenden Toleranz der Impedanzwerte führt, hängt letztlich von der Geometrie der gerouteten Leiterbilder ab sowie von der Multilayer-Konstruktion an sich.

Impedanz

Impedanzabweichungen sind stark abhängig vom Glasgewebe. Glasgewebe können unterschiedliche Gewebestrukturen haben. Die unterschiedlichen Abstände zwischen den Gewebefäden beeinflussen die lokalen dielektrischen Eigenschaften.

Diese Auswirkung des Basismaterials ist in Bild (20-2) zu erkennen. Durch die weite Maschenöffnung des Glasgewebes des eingesetzten Materials sieht das differentielle Leiterbahnpaar ein inhomogenes dielektrisches Umfeld.

Für die vorgegebene Geometrie liegt deshalb die Impedanz für die eine Leiterbahn bei ca. 89 Ohm und für die andere Leiterbahn bei ca. 104 Ohm.

Die bei differentiellen Leiterbahnpaaren angestrebte Einkopplung und die Synchronität der Signalübertragung kann so nicht erreicht werden.

Das Material ist für eine High-Speed-Baugruppe nicht geeignet und muß gegen FR4 mit gespreiztem Glasgewebe ausgetauscht werden (...z.B. NanYa).

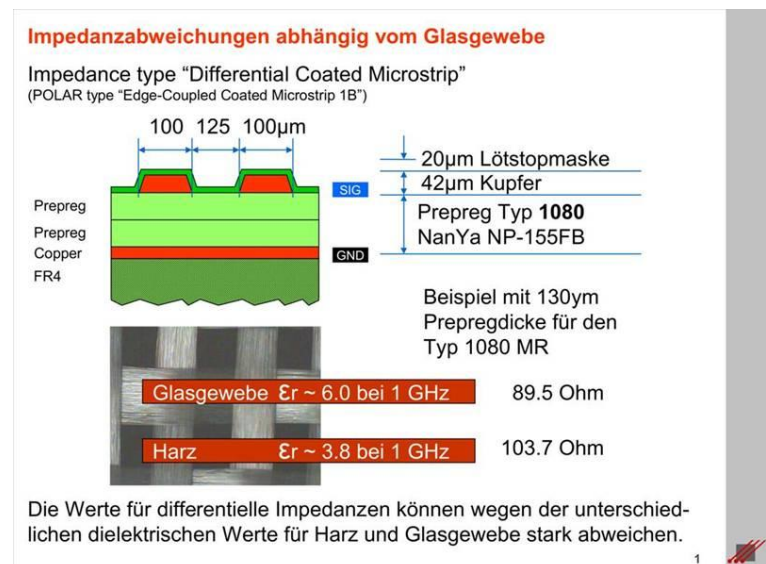


Bild 20-2 Der Einfluß des Glasgewebes auf die Impedanz

Die definierte Impedanz der Leiterbahnen ist eine der wichtigsten Eigenschaften für die integre und zuverlässige Signalübertragung.

Die "Single-Ended"-Struktur nutzt einzelne Leiterbahnen, die differentielle Signalübertragung arbeitet mit Leiterbahnpaaren.

Übliche Werte sind 50, 65 oder 75 Ω für "Single-Ended" oder 100 Ω für "Differentiell". Oft sind verschiedene Impedanzvarianten in *einem* **Impedanzmodul** unterzubringen. Es ist schwer, dann noch eine geometrische Lösung zu finden, die für alle geforderten Varianten gut paßt.

Die durch die hohe Anschlußdichte der BGAs erforderliche notwendige Reduzierung der Leiterbahnbreiten verschärft diese Situation. Die weiterhin steigende Verdrahtungsdichte wird im CAD-Layout nur mit noch schmalere Leiterbahnen geroutet werden können.

In Bild (20-3) ist zu sehen, daß dann bereits die Geometrie für eine Single-Ended-Leiterbahn mit 50 Ohm aus Sicht der klassischen Leiterplattentechnologie grenzwertig wird.

Soll gleichzeitig auf dem gleichen Layer auch noch eine differentielle Impedanz verwirklicht werden, dann ergeben sich mit Leiterbahnbreiten von $65\mu\text{m}$ bei einem Abstand von $125\mu\text{m}$ kontraproduktive Geometrien.

Mittelfristig wird diskutiert werden müssen, ob die bisherigen Zielimpedanzen zukunftsfähig bleiben.

Strategische Vorgaben

Bedingt durch die abwechselnde Schichtung von Prepregs und Laminaten in einem Multilayeraufbau finden sich pauschale Bauvarianten.

Von der Funktion, der CAD-

Konstruktion und der wirtschaftlichen Bewertung her ergeben sich allerdings deutliche Unterschiede. Der Entwurf eines Multilayersystems orientiert sich an den funktionalen Anforderungen, an den verfügbaren Produktionstechnologien und am wirtschaftlichen Umfeld.

Üblicherweise sind nie alle Anforderungen erfüllbar. Es gilt jeweils, die individuelle Lösung zu finden, mit denen die wichtigsten Vorgaben an die Baugruppe erfüllt werden können.

Die Auswahl und die Reihenfolge der Lamine bestimmen die Kontaktierungsstrategie und damit die Constraints für das CAD-System. Die eingesetzten Materialmengen an Prepregs und Laminaten bestimmen in Verbindung mit einfachen aber effektiven Bohrtechnologien (i.e. Laser) insbesondere bei großen LP-Stückzahlen die Kosten.

Die komplexe Konstruktion eines Multilayersystems bietet Lösungen im High-End-Bereich.

Aufbaumoduln

Durch die Reihenfolge von Laminaten und Prepregs werden die Abstände zwischen den Kupferlagen festgelegt. Daraus ergeben sich weitreichende Einflüsse auf die physikalischen und funktionalen Eigenschaften einer Baugruppe. Die Vorgabe für die folgenden Betrachtungen ist, daß für SIG, GND und VCC jeweils eine *eigene* Lage genutzt wird.

Die **Entkopplung** wird als "gut" bewertet, wenn VCC und GND benachbart sind. Dann kann bei Lagenabständen $\leq 100\mu\text{m}$ ein Flächenkondensator ausgeprägt werden. Die Bewertung ist "schlecht", wenn VCC und GND nicht benachbart sind. Dann könnten kapazitive Effekte auf keinen Fall genutzt werden.

Die **EMV** wird als "gut" bewertet, wenn *alle* inneren Signallagen von GND-Planes abgedeckt werden und wenn die VCC-Planes innen liegen und durch eine Kantenmetallisierung abgeschirmt werden *könnten*. Die Bewertung ist "mittel", wenn ein Signal in der Nachbarlage ein VCC hat. Die Bewertung ist "schlecht", wenn VCC nicht beidseitig durch GND abgedeckt wird und wenn VCC nicht durch eine Kantenmetallisierung abgeschirmt werden *könnte*.

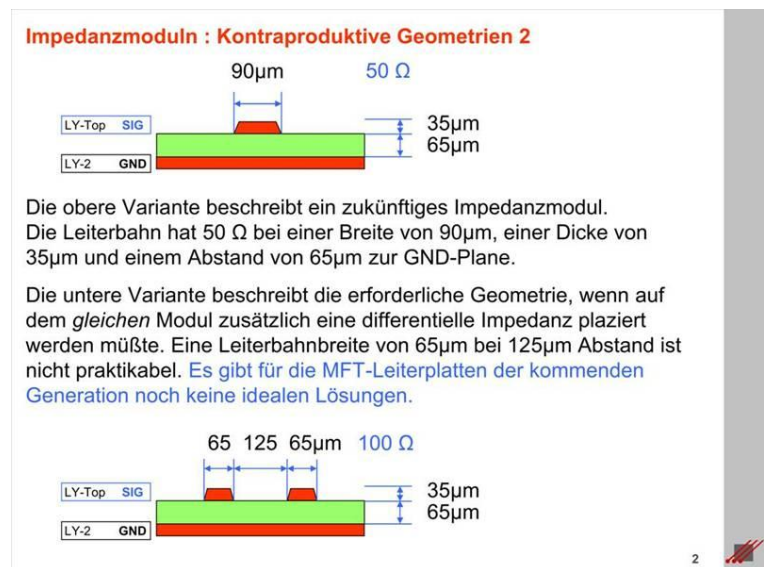


Bild 20-3 Zukünftige Anforderungen an Impedanzmoduln

Die **Signalintegrität** wird als "gut" eingestuft, wenn jedes Signal ein GND als direkte Nachbarlage hat.

Die Bewertung ist "schlecht", wenn es ein Signal gibt, das zwischen sich und GND ein zweites Signal sieht oder ein VCC.

Wie die Funktionsmoduln in einen Multilayeraufbau eingefügt werden könnten, ist im Bild (20-4) zu sehen.

Die **Eigenstörung** ist "niedrig", wenn alle Signale durch GND von VCC abgeschirmt sind.

Sie wird als "mittel" bewertet, wenn nur ein Signal betroffen ist.

Sie wird als "hoch" angesehen, wenn mehr als ein Signal betroffen ist.

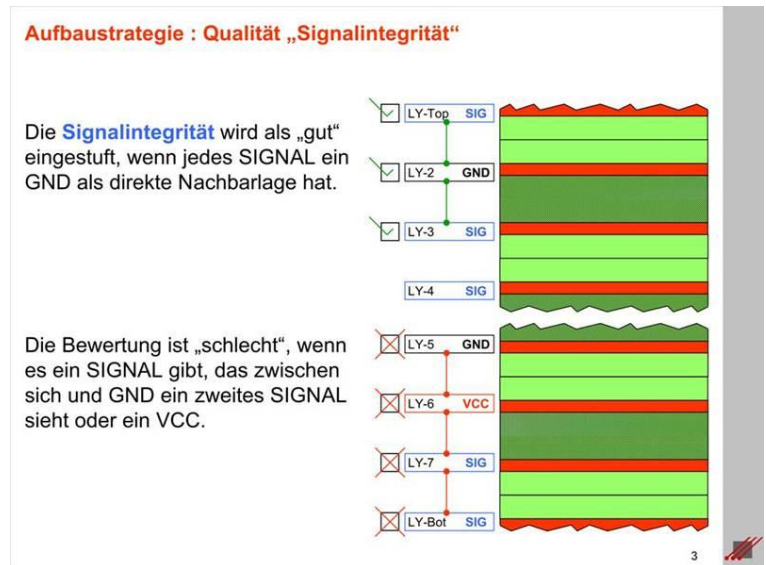


Bild 20-4 Strategische Optionen für die "Signalintegrität"

Aufbauoptionen für Multilayer

Die Reihenfolge von Signal- und Stromversorgungslagen in einem Multilayer kann sehr variantenreich erfolgen. Die Übersicht in Bild (20-5) zeigt typische Kombinationen. Die Beurteilung der unterschiedlichen Kombinationen nach den oben erläuterten Kriterien zeigt jedoch sofort Unterschiede in der elektrophysikalischen Funktion.

Die unbedachte Verteilung von Signal und Power kann offensichtlich zu massiven Nachteilen bei der Funktion einer Highspeed-Baugruppe führen (...siehe Variante 4 und 6).

Im Gegenzug führt die wohlüberlegte Reihenfolge von Signal und Power zu einer stabilen Funktion (...siehe dazu Variante 1 und 2), ohne daß dafür zusätzliche Kosten aufgewendet oder komplexere Schaltungskonzepte erdacht werden müssen.

Ganz allgemein können für High-Speed-Anwendungen bei Multilayern ab 10 Lagen gute Lösungen in den Bereichen EMV, SI und PI erwartet werden.

Allgemeine Aufbauoptionen für einen 10-Lagen-Multilayer

Tabelle 2

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Layer 1	SIGNAL	SIGNAL	SIGNAL	GND	SIGNAL	SIGNAL
Layer 2	GND	GND	SIGNAL	VCC	GND	SIGNAL
Layer 3	VCC	VCC	GND	GND	VCC	GND
Layer 4	GND	GND	SIGNAL	SIGNAL	SIGNAL	SIGNAL
Layer 5	VCC	SIGNAL	GND	SIGNAL	GND	VCC
Layer 6	GND	GND	VCC	GND	SIGNAL	SIGNAL
Layer 7	SIGNAL	SIGNAL	GND	VCC	SIGNAL	SIGNAL
Layer 8	SIGNAL	SIGNAL	SIGNAL	SIGNAL	GND	SIGNAL
Layer 9	GND	GND	SIGNAL	SIGNAL	SIGNAL	SIGNAL
Layer 10	SIGNAL	SIGNAL	SIGNAL	GND	SIGNAL	SIGNAL
Entkopplung	gut	gut	gut	gut	gut	schlecht
EMV	gut	gut	gut	mittel	mittel	schlecht
Signalintegrität	gut	gut	schlecht	schlecht	schlecht	schlecht
Eigenstörung	niedrig	niedrig	niedrig	mittel	mittel	hoch

Ergebnis Ab 10 Lagen können für High-Speed-Anwendungen gute Lösungen für EMV, SI und PI erwartet werden.

Bild 20-5 Aufbauoptionen für 10-Lagen-Multilayer

Hinweis

Die Funktion eines Multilayers oder einer Baugruppe definiert sich nicht allein durch die überlegte Aufeinanderschichtung von Basismaterialien.

Die Strategie muß sein, alle Partner vom Entwurf des Schaltungskonzeptes bis hin zur Produktion der Baugruppe einzubeziehen.

Das setzt ein hohes Maß an Bereitschaft zur **Kommunikation** voraus. Die erarbeiteten Vorgaben müssen systematisiert eingebunden werden. Das geht nur mit einer verlässlichen **Organisation**.

Weil eine Baugruppenproduktion dynamisch ist, muß diszipliniert mit **Informationen** umgegangen werden.

Die Materialien und die Fertigungsprozesse der Partner müssen den Beteiligten vertraut sein.

Persönliche Kompetenz entscheidet und nur die *qualifizierte* und *kontinuierliche* Ausbildung der Menschen, die dieses Produkt herstellen, garantiert die *zuverlässige* Funktion von High-Speed-Baugruppen.

