

10. Kapitel / Arnold Wiemers

Konstruktion von Multilayersystemen

Gesucht wird: Die Harmonie von Physik, Funktion und Wirtschaftlichkeit

Multilayersysteme: Die Komplikation ist der Motor des Fortschritts

Es wird wohl noch ewig diskutiert werden, was die Menschheit antreibt. Vielleicht - und das ist keineswegs paradox - ist es die Bequemlichkeit. Und manchmal, so scheint es, ist es anscheinend einfach nur das Vergnügen, Lösungen für komplexe Aufgabenstellungen zu finden.

Die Integration eines hochpoligen BGAs (i.e. "Ball Grid Array") in eine elektronische Schaltung ist eine solche komplexe Aufgabenstellung. BGAs haben zu einer dramatischen Steigerung der Leistungsfähigkeit elektronischer Produkte geführt. Es ist eine Herausforderung, hunderte von Signalnetzen kompakt zu verdrahten. Das ist jedoch möglich, wenn die Leiterplatte aus mehreren Ebenen (... als ein "Multilayer") zusammengebaut werden kann. Die für die Funktion der Baugruppe erforderlichen Signale und Stromversorgungen können dann während des Layoutens am CAD-System diesen Ebenen (~ "Lagen", "Layer") zugeordnet werden.

Im Sog der zunehmend zu verarbeitenden Datenvolumina muß auch deren Übertragungsgeschwindigkeit zunehmen. Das betrifft den internen Signaltransfer auf der Leiterplatte sowie den externen Signaltransfer zu anderen elektronischen Komponenten per Funk oder Kabel. Das betrifft allerdings auch die schnelle, stabile und störungsfreie Stromversorgung der Prozessoren, Speicher und Logikbauteile der Baugruppe.

Die Anforderungen an die Qualität des Produktes "Multilayer" verändern sich dadurch nachhaltig. Die begriffliche Reduzierung der Leiterplatte auf eine Mehrebenenschaltung ist nicht mehr passend. Es ist sinnvoller und zutreffender, von "Multilayersystemen" zu sprechen.

Eigenschaften von Multilayersystemen

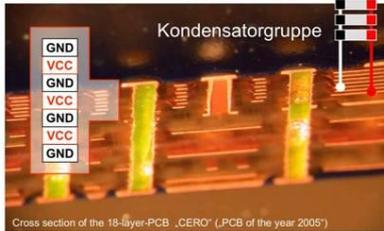
Die Formulierung "Multilayersysteme" macht deutlich, daß physikalische Gesetzmäßigkeiten, Basismaterialien, Strategien, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit bereits in der Phase der Ideenfindung für ein neues Produkt Berücksichtigung finden müssen.

Die Notwendigkeit, beim Lagenaufbau physikalische Gesetzmäßigkeiten beachten zu müssen, nimmt zu. Ein stabiles EMV-Verhalten mit niedriger Störabstrahlung wird seit langem angestrebt. Die Lösungen werden aber bisher noch vornehmlich auf der

1. Anforderung bei High-Speed : Powerintegrität

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

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



MPS (Multipowersystem)

Ein Stromversorgungsstapel mit 7 GND und VCC-Planes. Der minimale Abstand von 50µm wird durch den Einbau von dünnen Laminaten und Prepregs erreicht.

Cross section of the 18-layer-PCB „CERO“ (PCB of the year 2005)

Bild 10-1 Multipowersystem in einem Multilayeraufbau

Seite des Schaltungs- und Gerätekonzeptes gesucht.

Seit einigen Jahren findet jedoch die Signalintegrität (~ SI: "Signal Integrity") immer mehr Berücksichtigung, wobei neben der impedanzdefinierten Leiterbahnführung heute auch die Konstruktion definierter Rückstromwege wichtig ist.

Erst zögerlich wird mit der Integration kapazitiver Planes in den Lagenaufbau eines Multilayers auch die Powerintegrität (~ PI: "Power Integrity") umgesetzt (Bild 10-1).

Das klassische Basismaterial für elektronische Baugruppen werden auch in den nächsten Jahren FR4-Derivate sein. Die Materialeigenschaften des FR4 sind (...weitestgehend) bekannt, so daß sowohl die Leiterplattenfertigung als auch die Baugruppenproduktion kontrolliert durchgeführt werden können.

Die verfügbaren Materialdicken der Prepregs und Lamine gestatten zudem sehr variantenreiche Aufbaukonzepte.

Die Verbreitung der Herstellungstechnologie für die Produktion von Multilayern erlaubt zudem die Kombination von unterschiedlichen Materialklassen und damit die Fertigung von Hybridmultilayern.

Die heute mögliche Variantenvielfalt gestattet es, sehr fein abgestufte Strategien für die Konstruktion moderner Baugruppen zu entwickeln.

Eine wichtige Option ist, technisch-physikalische Anforderungen an die Gerätefunktion mit den Mitteln der Leiterplattentechnologie lösen zu können.

Die oft spektakulären Starrflexleiterplatten sind das klassische Beispiel für die Integration von Elektronik, Mechanik und Funktion. Sehr effektiv ist der Aufbau von Multipowersystemen (i.e. "MPS" oder auch "gestapelte Stromversorgungssysteme") durch den Einbau 50µm dünner Basismaterialien in den Multilayer.

Die langjährige Zuverlässigkeit einer elektronischen Baugruppe ist ein häufig unterschätzter Aspekt. Die Prozeßverfahren, Anlagentechnologien und Eigenschaften der eingesetzten Materialien ändern sich kontinuierlich. Trotzdem muß die einheitliche und reproduzierbare Qualität einer Baugruppe sichergestellt werden können.

Ein hohes Maß an Zuverlässigkeit wird durch die Einbindung von gerechneten Multilayerbauplänen bereits zum Zeitpunkt der Schaltplankonstruktion erreicht.

Das Maß für die Wirtschaftlichkeit einer Leiterplatte liegt bisher immer noch dominant auf dem Preis. Es ist allerdings künftig nicht mehr vorteilhaft, die Kosten und die Funktion einer Baugruppe isoliert vom Aufbau des Multilayers zu betrachten. Die Kosten für Schaltplankonstruktion, CAD-Layout, Leiterplatte, Bauteile, Gerätemontage und Funktionsprüfungen müssen als Systemkosten verstanden und deshalb auch in Summe bewertet werden.

Es ist inzwischen wesentlich einfacher, effektiver und kostengünstiger, die physikalisch-technische Leistung einer Baugruppe über die Qualität des Multilayeraufbaus zu steuern.

Konstruktion von Multilayersystemen

Für den Aufbau eines Multilayersystems werden zwei Kategorien von Komponenten benötigt, die Lamine (~ "Lagen", "Kerne", "Cores") und die Prepregs. Für den Aufbau eines Multilayers werden Lamine und Prepregs übereinandergeschichtet.

"Prepreg" ist ein Kunstwort, das für "**Preimpregnated**" steht und meint, daß bei FR4-Prepregs das Epoxydharz noch nicht vollständig ausgehärtet ist. Während des Verpressens des Multilayers unter

Druck und Temperatur wird das Harz wieder klebend. Die einzelnen Lamine verbinden sich dadurch zu einem homogenen Multilayer.

Damit ergibt sich für die Konstruktion eines Multilayers eine erste, einfache **Regel**:

- In einem Multilayer müssen sich klebende und nichtklebende Schichten abwechseln.
- Mehrere klebende Schichten (= Prepregs) können übereinander montiert werden, Lamine nicht.
- Zwischen benachbarten Laminen muß sich immer (...mindestens) eine Klebeschicht (~ Prepreg) befinden.

Multilayerbauklassen

Für den Aufbau von Multilayern lassen sich drei elementare Klassen unterscheiden, die sich an der Verteilung der Lamine/Kerne im Aufbau orientieren.

1. Bei Multilayern mit innenliegenden Kernen liegen alle Kerne innen und der Abschluß nach außen wird mit Prepregs und Kupferfolien realisiert. Diese Aufbaustrategie ist die einfachste, und preiswerteste. Bei hochpoligen BGAs ist eine interne Umverdrahtung mit Blind Vias und BuriedVias problemlos möglich (Bild 10-2). Große Stückzahlen sind preiswert herzustellen. Hybridbauten sind jedoch nicht oder nur eingeschränkt machbar.

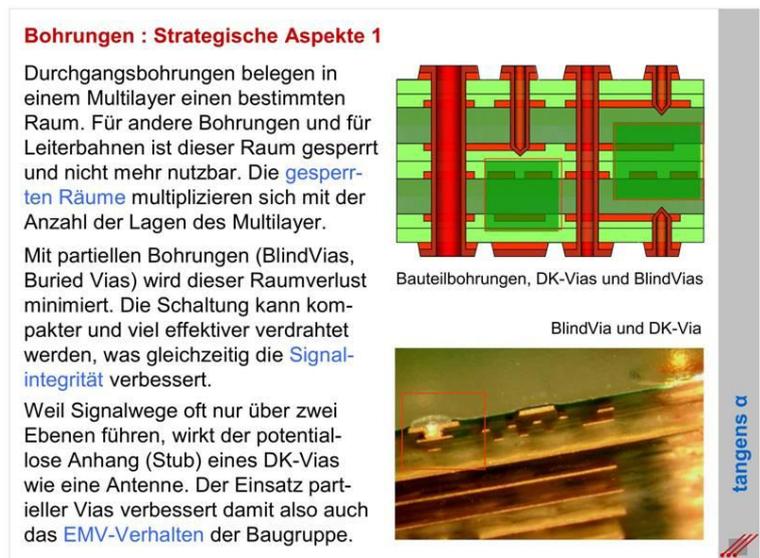


Bild 10-2 Multilayer mit Innenliegenden Kernen und mit BlindVias

2. Bei Multilayern mit außenliegenden Kernen wird der Abschluß hin zu den Außenlagen mit Laminen realisiert. Diese Variante ist ab 6 Lagen ideal, wenn Hybridbauten erforderlich sind. Werden hochwertige Lamine (...z.B. mit Keramikfüllung) benötigt, dann können diese auf einer oder auf beiden Außenlagen plaziert werden. Durch das aufwendigere Prozessieren der außenliegenden Lamine ist dieser Aufbau teurer. Eine interne Umverdrahtung bei BGAs ist möglich, aber erst ab 8 Lagen effektiv.

3. Bei Multilayern mit sequentiellen Aufbauten gibt es praktisch keine Einschränkungen hinsichtlich der Position von Laminen und der Kontaktierungsoptionen. Ein Problem bei dieser Bauklasse ist das Mehrfachverpressen der einzelnen Bauabschnitte. Die sich notwendigerweise ergebenden Materialverzüge müssen seitens der CAM-Aufbereitung der Layout-Daten im Vorfeld kompensiert werden. Bei mehr als zwei Verpressungen muß mit Materialversprödung gerechnet werden.

Kontaktierungsstrategien und Routing

Alle Kontaktierungsoptionen können bei Multilayern eingesetzt werden. Neben den üblichen Durchkontaktierungen sind also auch Kombinationen von BlindVias und BuriedVias verfügbar. Die einsetzbaren Varianten sind im Wesentlichen nur durch die Kosten limitiert.

Die Reduzierung der Geometrie integrierter Komponenten wie BGAs erfordert Lösungen auf engstem Raum. Im Extremfall hat der Pitchabstand des Bauteils einen weitreichenden Einfluß auf die Kontaktierungs- und Routingstrategie und damit auf den Aufbau des Multilayers (Bild 10-3).

Funktionsräume

Sehr entscheidend für die funktionale Qualität der Baugruppe ist die funktionale Qualität des Multilayersystems.

Die Aufteilung des Multilayers in Funktionsräume ist der Schlüssel dazu (Bild 10-4).

Die Systematik, mit der Stromversorgungsräume und Signalmodule konstruiert und zueinander angeordnet werden bestimmt die Vorhersagbarkeit und die Zuverlässigkeit der elektronischen Baugruppe.

Das gilt von Beginn an. Bereits in der Phase der Schaltplanerstellung müssen die Übertragungseigenschaften der Signalverbindungen definiert sein. Das CAD-System benötigt für die Simulation der Signalqualität die Lagenabstände, die Werte für die Dielektrika und den Signalpfad über die Kontaktierungen.

Die kapazitiven Eigenschaften des Stromversorgungssystems beeinflussen die Verschaltung von diskreten Bauteilkomponenten, vomehmlich der Kondensatoren für die Entkopplung.

Die rechtzeitige Deklaration der Funktionsräume erlaubt nicht nur die zuverlässige Simulation der Baugruppe, die konstruiert werden soll. Es werden gleichzeitig auch die Konstruktionsvorgaben für die Erstellung des CAD-Layouts und die Anforderungen an die Leiterplatte definiert.

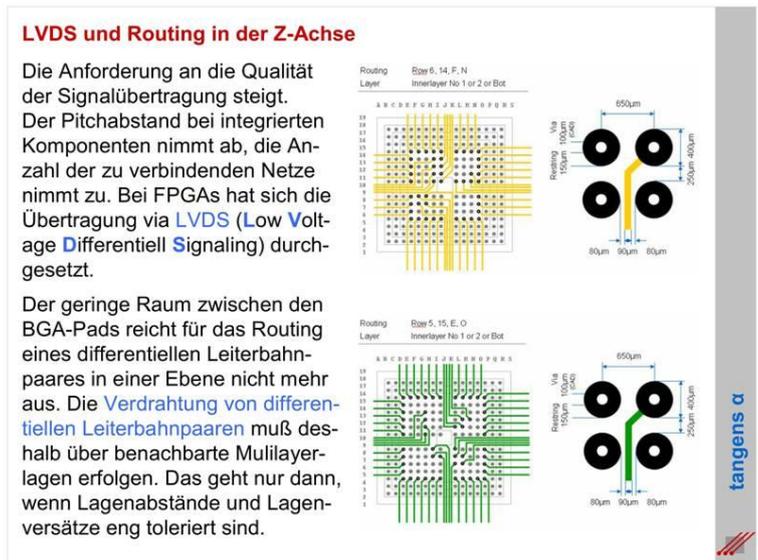
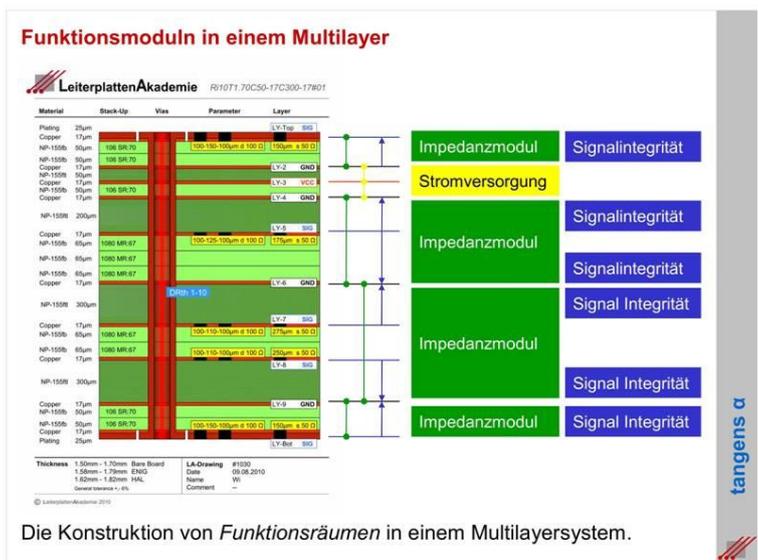


Bild 10-3 Vorgaben an den Multilayeraufbau bedingt durch das BGA-Routing



Die Konstruktion von Funktionsräumen in einem Multilayersystem.

Bild 10-4 Funktionsräume in einem Multilayersystem

Allgemeine Regeln für den Aufbau von Multilayersystemen

Für die Konstruktion von Multilayern gibt es allgemeine Regeln, die berücksichtigt werden sollen.

- a) Aufbauten mit innenliegenden Kernen bevorzugen. Das ist am preiswertesten und am unkompliziertesten.
- b) Bei unterschiedlich dicken Prepregs das dünnere Prepreg zur Kupferfolie hin legen. Prepregs bestehen aus einlagigen Glasgeweben. Das Glasgewebe dünnerer Prepregs ist feiner und dichter gewebt. Die Oberfläche der aufgeklebten Kupferfolien ist entsprechend planer.
- c) Die Mindestdicke einer Prepreglage zwischen zwei Signallagen soll $75\mu\text{m}$ nie unterschreiten. Die benachbarten Kupferdicken dürfen dann $17\mu\text{m}$ nicht überschreiten. Normal ist der Einbau von zwei Prepregs zu bevorzugen, um ein Abscheren des Gewebes während des Verpressens zu vermeiden.
- d) Für den Aufbau von Multipowersystemen ist ein einzelnes Prepreg von $50\mu\text{m}$ Dicke erforderlich. Das ist zulässig, wenn die angrenzenden Kupferschichtdicken nicht über $17\mu\text{m}$ liegen. Das Prepreg sollte mindestens mittleren Harzgehalt haben.
- e) Zwischen zwei Laminaten sollen maximal drei Prepregs plaziert werden. Das sorgt für geringere Produktionstoleranzen beim Verpressen der Multilayer.
- f) Buried Vias und Blind Vias auf dem Bottom-Layer sollen aus Gründen der höheren Produktionskosten nach Möglichkeit vermieden werden.
- g) Ungleiche Kupferdicken auf den beiden Seiten eines Laminats sind immer zu vermeiden. Diese Materialien sind standardseitig nicht verfügbar und zudem nur mit höherem Aufwand zu prozessieren.

Hinweis

Hier können aus Platzgründen nur pauschale Strategien und Grundkonzepte für starre Multilayer angesprochen werden. Die Vorgaben für die Konstruktion von Multilayersystemen sind herstellerbezogen oft individuell unterschiedlich.

Die *unverzichtbare* Aufgabe des Multilayerbauplans ist, die physikalischen, technologischen und wirtschaftlichen Eigenschaften elektronischer Baugruppen von Beginn an verbindlich zu beschreiben.

