

14. Kapitel / Arnold Wiemers

Starrflexible Leiterplatten

Mehr Komplexität für einfache Lösungen

Starrflexible Baugruppen sind etabliert

Noch vor wenigen Jahren waren starrflexible Leiterplatten eher ein exotisches Produkt der Leiterplattenindustrie. Zu teuer, zu komplex und zu unüberschaubar vom Regelwerk her, das der Designer zu beachten hat.

Das hat sich grundlegend geändert. Die starrflexiblen Leiterplatten definieren zwar noch immer die Königsklasse der Leiterplattentechnologie. Der exotische Touch ist jedoch verflogen. Flexible und starrflexible Leiterplatten haben unseren Alltag erobert. Gewöhnliche Baugruppen werden längst auf hohem Niveau in größten Stückzahlen gebaut. Mobiltelefone, Videokameras, Fotoapparate, MD- und MP3-Player setzen auf die technischen und strategischen Optionen, die sich durch starrflexible Materialien in Kombination mit moderner Leiterplattentechnologie ergeben.

Was macht dieses Produkt aus?

Wenig Platz, geringe Bauhöhe, niedriges Gewicht, automatisierte Montage, große Stabilität, hohe Zuverlässigkeit und konstruktive Freiräume zeichnen die starrflexiblen Materialien aus.

Technisch anspruchsvolle Anforderungen für die Bewältigung komplexer geometrischer und funktioneller Aufgabenstellungen werden von diesen Produkten erfüllt. Es eröffnet sich ein breites Spektrum an Lösungen für die tägliche Ingenieursarbeit.

Obwohl "normale" starrflexible Leiterplatten das 3 bis 5-fache im Vergleich zu konventionellen Leiterplatten kosten, so helfen sie dennoch, die Gesamtkosten für viele elektronische Geräte zu senken.

Die Ursache ist in der Erleichterung der Gerätemontage zu sehen. Der Zusammenbau funktionaler Einzelkomponenten eines Gerätes ist aufwendig. Eingabeauffassung, Display, Speichern und Auswerten von Daten, externe Schnittstellen, Sensorik und Stromversorgung müssen zusammengebracht werden.

Doch die Montage von individuell konfektionierten Steckern und Flachbandkabeln ist langwierig, aufwendig und teuer. Eingesparte Steckverbindungen sparen somit Geld, Platz und Gewicht. Eine Veränderung des Erscheinungsbildes eines mobilen Gerätes ist mit weniger Sachzwängen verbunden und in unserer heutigen schnellen Zeit kurzfristig umsetzbar.

Anwendungen

In allen Lebensbereichen finden sich starrflexible Leiterplatten. Im Maschinenbau kommen vibrationsentkoppelte Verbindung von beweglichen Komponenten zum Einsatz. Die Medizintechnik hat für die Prothetik den Einsatz von beweglicher Elektronik in künstlichen Gelenken entdeckt. Bereits an der Tagesordnung ist die Magen-Darm-Prävention durch gekapselte Kamerasysteme die inklusive Stromversorgung in eine gefaltete starrflexible Leiterplatte integriert sind. Die mobile Datenerfassung (~ MDE) ist durch kompakte und leichte Geräte ermöglicht worden. In der Haustechnik werden starr-

flexible Leiterplatten in die Zylinder von Türschlössern eingebaut. Im Modellbau und in der Sensorik ist die Kontaktabnahme durch bewegliche Meßgeber üblich.

Die Elektronifizierung im Kfz-Bereich hat für einen zusätzlichen Schub gesorgt. Auch in eher konservativen Sparten wie der Luft- und Raumfahrt nimmt der Einsatz starrflexibler Schaltungen zu. Insbesondere die zahlreichen Anwendungen in der Avionik verdeutlichen das Vertrauen in die Zuverlässigkeit starrflexibler Leiterplatten. Und daß die Kosten im Vergleich zum Nutzen offensichtlich vertretbar sind, zeigt sich am massenhaften Einsatz flexibler und starrflexibler Schaltungen im Bereich automotiver Anwendungen.

Die kaufmännische Entscheidung für die aufwendigere und teurere starrflexible Schaltung fällt im Vergleich zu einer "Standardleiterplatte" nicht immer leicht. Der wesentliche Unterschied zur starren Leiterplatte besteht in der Betrachtung der *gesamten* Systemkosten, die üblicherweise deutlich zu Gunsten einer starrflexiblen Leiterplatte ausfallen.

Eingesparte Bauteilkosten, reduzierte Montagekosten, vereinfachte Prüfkosten, kürzere Handlingzeiten und eine unkompliziertere Verfahrensdokumentation sorgen dafür, daß eine vordergründig als teuer klassifizierte Leiterplatte im Nachhinein zu einer preiswerteren Baugruppe führt.

Fertigungstechnologie

Bis Anfang 2000 war die flexible oder starrflexible Schaltung vornehmlich nur in der großen Serie erfolgreich. Die Investition der Leiterplattenhersteller in leistungsfähige Anlagen zur Produktion von Multilayern hat die Bedingungen verändert. Die Fortschritte in der Herstellungstechnologie bei den mittelständischen Leiterplattenfertigern haben dazu geführt, daß starrflexible Produkte heute auch in kleineren Stückzahlen mit teilweise extrem individualisierter Ausprägung verfügbar geworden sind.

Im Prinzip ist ein starrflexibler Multilayer immer ein Hybrid, das bedeutet, es müssen Materialien unterschiedlicher Qualität miteinander verpreßt werden (Bild 14-1).

Viele Aufbauten enthalten neben Polyimid und FR4 auch noch eine dritte Substratklasse, z.B. keramikgefülltes Material.

Ohnehin müssen mit Bondplys (~ "Flexprepregs") und aufgeklebten Coverlays bereits multifunktionale Materialschichten Berücksichtigung finden.

Starrflexible Baugruppen : Legendokumentation

Multilayerbauplan

Bei einem starrflexiblen Multilayer müssen sowohl die Materialien im starren Abschnitt der Leiterplatte beschrieben werden als auch im starrflexiblen.

Gibt es physikalische Anforderungen, die erfüllt werden müssen, dann sind diese Vorgaben deutlich zu machen.

Hier sind gleichbleibend 50 Ohm SE-Impedanzen bei einer Leiterbahnbreite von 130µm gefordert. Das ist nur möglich mit einem Wechsel des Bezugspotentials. Für „LY-4 SIG“ ist im Flexbereich „LY-5 GND“ der Bezug, im starren Bereich ist es „LY-6 GND“.

Material	Stack-Up	Vias	Parameter	Layer
Plated	25µm			LY-TOP GND
Copper	17µm			SLC
NP-1550b	100µm	2116 SR-52		LY-2 SIG
NP-1550b	100µm	2116 SR-52		LY-3 GND
Copper	35µm		120µm ±S1 D	LY-4 SIG
NP-1550i	250µm			LY-5 GND
Copper	35µm	1060 MR-87		LY-6 GND
NP-1550b	30µm	1060 MR-87		SLC
NP-1550b	50µm	106 SR-70		LY-7 SIG
Copper	17µm		130µm ±S1 D	LY-8 GND
Coverlay	25µm			
NP-1550i	30µm	106 SR-70		
NP-1550i	50µm	1060 MR-87		
NP-1550i	70µm	1060 MR-87		
Copper	35µm			
NP-1550i	250µm			
NP-1550b	100µm	2116 SR-52		
NP-1550b	100µm	2116 SR-52		
Copper	35µm			
Plated	25µm			LY-BOT GND

Thickness 1.33mm - 1.50mm Bare Board
 1.41mm - 1.59mm ENIG
 1.44mm - 1.62mm HAL
 General tolerance ± 0.1%

L&Drawing #1044
 Date 03.08.2011
 Name WI
 Comment --

© LeiterplattenAkademie 2011. All rights reserved.

Bild 14-1 Oberflächenbilanz für Chemisch Gold

Für das Bohren und Metallisieren der Hülsen bedeutet das eine feinfühlige Abstimmung der Prozeßparameter. Es gehört Einiges an Berufserfahrung dazu, die richtigen Drehzahlen und die optimalen Vorschubgeschwindigkeiten für das weiche Polyimid einerseits und für das harte FR4 (~ Epoxydharz plus Glasgewebe) andererseits zu ermitteln, so daß das Material an den Wandungen der Bohrhülsen

Vincenz, Taube, Wiemers: Leiterplatten- und Baugruppenteknik

beim Bohren sauber geschnitten und ein Aufschmelzen der Harze und Glasgewebe weitestgehend vermieden wird.

CAD-Layout

Flexible und starrflexible Leiterplatten in der HDI-Klasse mit Leiterbahnbreiten und -abständen bis zu minimal 100µm sind problemlos zu fertigen.

In Kombination mit der Miniaturisierung in der Leiterplattentechnologie (i.e. Microvia und Microline) stehen alle Layoutstrategien zur Verfügung, die sich bei starren Leiterplatten in den letzten Jahren ausgeprägt haben.

Auf den starren Teilbereichen eines Starrflex-Multilayers kann das CAD-Design also alle Vorteile der selektiven Kontaktierungsvarianten nutzen (Blind Vias, Buried Vias), so daß auch hochpolige Chips und vor allem µBGAs eingesetzt werden können.

Viele klassische Regeln für das Design starrflexibler Leiterplatten sind ins Wanken geraten. Die Bestückung von Bauteilen auf flexiblen Basismaterialbereichen ist inzwischen eine übliche Vorgehensweise, wenn die Baugruppe das erfordert und wenn der flexible Bereich keiner dynamischen Biegebelastung unterliegt.

Auch der minimale Biegeradius wird vielfach ignoriert. Abgeknickte und geklemmte Flexbereiche in Video- und Digitalkameras sind üblich, wenn im Biegebereich später keine Bewegung mehr ausgeführt wird.

Im Prinzip bedienen die Routingregeln und die Regeln für die Multilayerkonstruktion starrer Leiterplatten auch die Anforderungen starrflexibler Leiterplatten.

Ergänzungen finden sich vornehmlich im Bereich der Sicherheitsabstände im Übergang vom starren zum flexiblen Teil. Zu beachten ist hier ein Abstand $\geq 1.0\text{mm}$ für alle Leiterbilder und Bauteile.

Polyimidfolie reißt leicht ein. Als ein mechanischer Einreißschutz sollte im Bereich einer Innenkontur freiliegendes flexibles Material im Randbereich

mit einer Kupferbahn $\geq 500\mu\text{m}$ verstärkt sein (Bild 14-2). Befestigungen von oder auf flexiblen Bereichen sollten umlaufend eine Kupferfläche bieten, die $\geq 1.0\text{mm}$ breit ist.

Material

Als Standardmaterial für ein- oder doppelseitige flexible Schaltungen wird Polyimid eingesetzt, bei Massen Anwendungen auch das preiswertere Polyester (...PET ~ Polyethylenaphthalat) oder PEN (~ Polyethylenterephthalat). Für Sonderanwendungen stehen LCP (~ flüssig kristalline Polymere) oder PEEK (Poly Ether Ether Keton) zur Verfügung. Letzteres zeichnet sich aus durch geringste



Bild 14-2 Einfache Designregeln für flexible Bereiche

Feuchtigkeitsaufnahme, niedrige Ausgasung und höchste thermische Belastbarkeit. Dieses Material besetzt die enge Nische einiger Anwendungen in der Raumfahrt (Quelle: Christian Kalkmann, ILFA Akademie, Starrflexible Leiterplatten, 09'2010).

Für den Zusammenbau einer Starrflexiblen Leiterplatte wird flexibles Polyimid-Material mit einem starren Innenlagenlaminat verpreßt, das ist in der Regel das altbeliebte FR4. Aber auch starres Polyimid sowie Sondermaterialien von Arlon, Taconic oder Rogers können verarbeitet werden.

Je nach Charakteristik (...Elektrolytkupfer oder Walzkupfer) und Ausführung (...Coverlay, lokale Verstärkung) ist das flexible Material hochelastisch und für dynamische Biegezyklen > 100000 geeignet. Flexleiterplatten haben wenig Gewicht und sind thermisch bis über 200 °C belastbar.

Das Dielektrikum liegt bei zirka 3.4 und hat zur Folge, daß die Geometrie von Übertragungsleitungen angepaßt werden muß, wenn diese über den flexiblen Abschnitt einer Leiterplatte geführt werden.

Die Haftkraft des Kupfers auf der flexiblen Polyimidfolie ist > 1.0 N/mm, die maximale Betriebstemperatur > 100 °C. Beide Werte passen zu den vergleichbaren Leistungskenngrößen von FR4.

Durch die kombinierte Verarbeitung mit hochfrequenzgeeigneten Materialien gibt es auch Lösungen für Baugruppenkonzepte und elektronische Schaltungen, die eine extrem verlustarme Signalübertragung erfordern.

Konstruktion des Lagenaufbaus

Es gibt keine produkttypische Limitierung für die Anzahl der Lagen in einem Starrflexmultilayer. Die heute geforderte höhere Leistungsfähigkeit von elektronischen Baugruppen ist bei oft geringem Platzbedarf und extrem kompakt platzierten Bauteilkomponenten auch bei starrflexiblen Schaltungen möglich.

Konstruktiv sollte der flexible Teil bei einem Starrflex-Multilayer mittig eingebracht sein, es ist aber auch das Aufpressen auf die Außenlagen oder ein asymmetrischer Aufbau möglich.

Üblicherweise werden die Lamine für einen starrflexiblen Multilayer mit konventionellen FR4-Prepregs verpreßt. Alternativ können Polyimidprepregs eingesetzt werden. Viele Aufbauten sind in der Vergangenheit mit Acryl- und Epoxydharzklebern realisiert worden.

Mit der zunehmenden Ausrichtung auf bleifreie Baugruppen im Schatten der Forderung nach RoHS-kompatiblen Produkten versucht man, diese Kleber zu vermeiden. Die enorme thermische Belastung beim Verpressen der Multilayer und beim Löten der Baugruppe führt zu Vorbelastungen des Materials und zu unzuverlässigen Verpressungen, die zur Delamination neigen.

Durch das Einfügen von Powerplanes in einen Lagenaufbau sind effektive Maßnahmen für die Signalintegrität mit Beachtung der Leitungsimpedanz und der Rückströme umsetzbar.

Eine besondere Anwendung sind im Moment noch starrflexible UTMs (~ Ultra Thin Multilayerboards), die teilweise mit 50µm dünnen Laminaten aufgebaut werden. Die kapazitiven Eigenschaften benachbarter Powerplanes sind damit nutzbar.

Ein Nebeneffekt ist die Verringerung des Gewichtes und der Bauhöhe des elektronischen Gerätes. Im Ergebnis erhält man durch die Kombination starrflexibler UTMs mit der MFT (~ Micro-Fineline-Technology) hochintegrierte und kompakte elektronische Baugruppen.

Gestapelte Stromversorgungssysteme (i.e. MPS ~ Multipowersysteme) bieten ein Höchstmaß an Powerintegrität und wirken sich durch ihren abschirmenden Einfluß positiv auf das EMV-Verhalten der in Betrieb genommenen Baugruppe aus.

Auch für die Entwärmung ist gesorgt. Sowohl Dickkupferschaltungen als auch der Einbau von Metallkernen sind konstruktive Optionen.

Die Abstände und die Biegeradien der starren Leiterplattensegmente müssen vor Beginn des CAD-Layouts bekannt sein. Starrflexible Baugruppen müssen immer plan bestückt werden (Bild 14-3).

Bei der Platzierung der Komponenten muß deshalb die spätere gefaltete und gegebenenfalls gebogene Geometrie der Baugruppe beachtet werden.



Bild 14-3 Bauteilplatzierung und Baugruppenmontage

Hinweis

Es gibt zu viele individuelle Produktionsparameter, die an die Konstruktion, die Funktion und den Einsatz einer starrflexiblen Baugruppe gebunden sind.

Sprechen Sie mit dem Leiterplattenhersteller Ihres Vertrauens. Er wird Ihnen die richtigen Mitarbeiter zur Seite stellen, die Sie kompetent bei der Materialauswahl, dem Lageraufbau und dem CAD-Design beraten werden.

