

elektroniknet.de

Elektronik

Fachzeitschrift für industrielle Anwender und Entwickler

Design von starr-flexiblen Leiterplatten:

Gebogen und gefaltet

>> Seite 38

**Altium.**

Die Elektronik-Artikel des Jahres 2015
>> Seite 18

 HIL-Simulation mit der Kraft
mehrerer Herzen

>> Seite 26

 Leistungsintensive
Leiterplatten

>> Seite 45

Digi-Key**Scheme-it**

KOSTENLOS
Online-Schaltplan- und
Blockdiagramm-Tool
für Elektroniker

DIGIKEY.DE/SCHEMEIT



Starr-flexible Leiterplatten designen will gelernt sein:

Gebogen und gefaltet

Eine starr-flexible Leiterplatte zu entwickeln ist von sich aus schon keine einfache Sache. Richtig kompliziert wird das Design aber, wenn es auf dieser Leiterplatte High-Speed-Signale gibt. Unter anderem muss entschieden werden, was wichtiger ist – die Integrität der High-Speed-Signale oder die Flexibilität der Leiterplatte.

Von Benjamin Jordan

Beim Design von PCBs (Printed Circuit Boards) geht es immer wieder um das Schließen von Kompromissen, die während der Planungs- und Layout-Phasen getroffen werden müssen. Dies gilt insbesondere für ein hybrides High-Speed- und Rigid-Flex-Design, bei dem der Designer besondere Sorgfalt walten lassen sollte. Für ein erfolgreiches Design einer kom-

plexen Rigid-Flex-Leiterplatte mit High-Speed-Signalen ist es zudem empfehlenswert, sich an einige erprobte Verfahrensweisen zu halten.

Anforderungsprofil genau definieren

Bevor mit dem Designprozess begonnen wird, sollte man wissen, für welche Art von Anwendung das neue PCB vorge-

sehen ist und wie die starren und flexiblen Teile des Designs genutzt werden sollen. Dies nämlich bestimmt in großen Teilen darüber, ob die Betonung auf der Signalintegrität oder der dauerhaften Flexibilität der Leiterplatte liegt.

Als erstes ist die Frage zu stellen, ob die starr-flexible Leiterplatte im täglichen Einsatz gebogen und gefaltet werden wird. Falls ja, müssen Werkstoffe ausgewählt werden, die für eine optimale Zuverlässigkeit und Dauerhaltbarkeit des Produkts stehen. Ein Board dieser Art wird als ‚dynamic flex‘ bezeichnet. Selbstverständlich darf die Signalintegrität auch beim Design eines solchen Dynamic Flex Board nicht aus dem Blick geraten, doch die Zuverlässigkeit des PCB sollte bei einer Anwendung dieser Art eindeutig im Vordergrund stehen.



Bild 1. Die im Bild dargestellte Rigid-Flex-Schaltung wird beim Einbau fest verankert. (Bild: Altium)

Um die Impedanz eines Signalpfads möglichst genau eingrenzen und zugleich hohe Signalintegrität gewährleisten zu können, sorgen die meisten Board-Designer dafür, dass High-Speed-Signale durch massive Kupfer-Masseflächen abgeschirmt werden. Solche massiven, durchgehenden Kupfer-Masseflächen sind jedoch nicht besonders flexibel und können sich negativ auf die Zuverlässigkeit der Leiterplatte auswirken, sofern diese beweglich ausgelegt werden muss.

Wenn die flexiblen Schaltungen allerdings nur gelegentlich – unter Umständen nur während der Produktion oder bei der Wartung – gebogen oder gefaltet werden, so kann der Designer doch in erster Linie Wert darauf legen, dass die Integrität der High-Speed-Signale gewahrt bleibt. PCBs dieser Art sollen hier als „Flex-to-Install“-Leiterplatten (Bild 1) bezeichnet werden.

Ein solches Flex-to-Install-PCB kann mit stabileren Masseflächen ausgestattet werden als eine Dynamic-Flex-Leiterplatte. Das Hauptaugenmerk wird in

diesem Fall also nicht auf die Zuverlässigkeit der Materialien mit Fokus auf eine möglichst flexible Leiterplatte gelegt, sondern auf die Bereitstellung stabiler Signal-Rücklaufwege, welche Signalintegrität gewährleisten.

In beiden Szenarien spielen die Kosten für die Produktion der Leiterplatte eine Rolle: In der Regel muss das finale PCB-Design nicht nur Performance-Vorgaben einhalten, sondern auch kosteneffektiv sein.

Designregeln festlegen

Ist die eben erwähnte Analyse abgeschlossen, so gilt es, die genauen Designregeln und die Anforderungen an den Lagenaufbau zu definieren, auf deren Basis das Board anschließend entworfen wird. Im Folgenden werden einige sinnvolle Regeln für das Design von Dynamic-Flex- und Flex-to-Install-Leiterplatten analysiert. Außerdem wird gezeigt, wie sich der richtige Lagenaufbau für kontrollierte Impedanzen und Signalintegrität zusammenstellen lässt.

Design einer Dynamic-Flex-Leiterplatte

Wie schon angesprochen, wird eine Dynamic-Flex-Leiterplatte während des Gebrauchs immer wieder gebogen. Das Problem besteht hier darin, dass das Kupfer dadurch ermüdet, hart wird und schließlich bricht. Für High-Speed-Signale sollte die Leiterplatte grundsätzlich eine unterbrechungsfreie kupferne

Massefläche aufweisen. Durchgehende Kupferlagen sind jedoch nicht so flexibel wie Crosshatch-Lagen. So erklärt es sich, dass die Massefläche im flexiblen Abschnitt eines Dynamic-Flex-Board eine höhere Bruch- und Ausfallwahrscheinlichkeit aufweist.

Die Dicke der Kupferschicht und die Methode zur Produktion der Kupferkaschierung spielen ebenfalls eine Rolle. Die herkömmlichen, galvanisch abgeschiedenen Kupferkaschierungen sind dicker und anfälliger für ermüdungsbedingte Ausfälle an flexiblen Schaltungen. Weichgeglühtes Kupfer (Bild 2) wiederum ist dünner, dafür aber flexibler und haltbarer und bietet dennoch die Voraussetzungen für möglichst hohe Signalintegrität. Der größeren Haltbarkeit von weichgeglühtem Kupfer stehen allerdings höhere Kosten gegenüber, sodass diese Option vor allem bei Anwendungen zum Zuge kommt, bei denen die Signalintegrität höchste Priorität hat.

Will man die Kosten senken und sich gleichzeitig Flexibilität bewahren, so sollte man bevorzugt polygonale Crosshatch-Masseflächen verwenden (Bild 3). Nachteilig hierbei ist die reduzierte Signalintegrität. Verglichen mit PCBs, die durchgängige Masseflächen aufweisen, erhöhen Leiterplatten mit polygonalen Crosshatch-Masseflächen die Anstiegs- und Abfallzeiten schneller Signale, da die Rückströme durch die Hatch-Struktur mäandern müssen.

Die Signalintegrität lässt sich auf mehreren Wegen verbessern: Zum Beispiel verändern sich die Auswirkungen, die polygonale Crosshatch-Masseflächen auf die Anstiegs- und Abfallzeiten haben, in Abhängigkeit davon, wie die Leiterbahnen mit High-Speed-Signalen relativ zur Massefläche positioniert werden. Ein guter Kompromiss kann darin bestehen, lokale Signallücklaufwege mit größerer Stärke direkt unter den High-Speed-Leiterbahnen zu platzieren. Wird diese Option gewählt, sollte der Rücklaufweg mindestens die zehnfache Breite der Signalleiterbahn haben.

Sobald die Werkstoffe für die Leiterplatte ausgewählt sind, kann es mit dem Board-Layout weitergehen. In dieser Phase wird entschieden, wie viele Lagen das PCB haben und wie der Lagenaufbau beschaffen sein wird. Mit einem geeigneten ECAD-Tool werden der Lagenaufbau, die Art und die Stärke des Materials sowie gegebenenfalls auch die Dielektrizitätskonstante des Werkstoffs bestimmt. Mit diesen Informationen können leistungsfähige ECAD-Tools Impedanzberechnungen anstellen und mit dem geeigneten Layout die Integrität der High-Speed-Signale sicherstellen.

In diesem Stadium werden auch die Designregeln festgelegt: Zum Beispiel muss hier spezifiziert werden, dass die Impedanz eines High-Speed-Signalfahrs über seine gesamte Länge konstant bleiben soll. Auf diese Weise wird das ECAD-Tool angewiesen, die Leiterbahnbreite automatisch beizubehalten. Nur so lässt sich die Impedanz der Signalleitung in den starren und flexiblen Abschnitten auf gleichem Niveau halten.

Man sollte andererseits darauf achten, mit den Designregeln nicht über das Ziel hinauszuschließen. Viele Entwickler wenden beim Design von High-Speed-PCBs übermäßig strenge Entwurfsregeln an. Unter anderem existiert häufig mehr Spielraum für die Längenanpassung, als man zunächst vermuten würde. Die Anwendung übermäßig strikter Designregeln kann bewirken, dass die Leiterplatten komplexer und damit teurer in der Herstellung werden.

Design einer Flex-to-Install-Leiterplatte

Verglichen mit dem Design einer High-Speed-Dynamic-Flex-Leiterplatte ist der Entwurf eines Flex-to-Install-PCB ein Spaziergang. Flex-to-Install-Leiterplatten

werden nur während des Einbaus und bei der Wartung gebogen, sodass der Fokus hier auf die Signalintegrität gerichtet werden kann. Die Zuverlässigkeit des PCB indes hat sekundäre Bedeutung.

In Flex-to-Install-Boards können massive Kupferlagen und sehr dünne Polyimidfolien verwendet werden, da diese Leiterplatten nicht so oft gebogen werden. Die hier gewählte Kombination sorgt für hohe Signalintegrität im flexiblen Teil der Leiterplatte.

Wichtig ist die Frage, wie die Leiterplatte eingebaut werden wird: Die

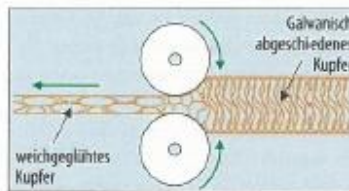


Bild 2. Weichgeglühte Kupferlagen sind dünner und haltbarer als galvanisch abgeschiedene Kupferkaschierungen.

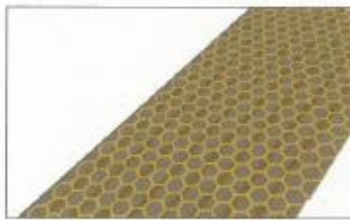


Bild 3. Polygonale Crosshatch-Masseflächen sind bei flexiblen Leiterplatten eine interessante Option, man muss dabei aber eine reduzierte Signalintegrität in Kauf nehmen.

meisten Flex-to-Install-Leiterplatten sind für Massen-Anwendungen vorgesehen, was häufig mit automatisierter Montage einhergeht. Die Designer müssen deshalb sicherstellen, dass es beim Zusammenbau der Leiterplatte und der Systeme keine Probleme gibt.

Unabhängigbar ist ebenfalls, dass man die Impedanz der Signalleitungen durch die Wahl der richtigen Werkstoffe sehr genau eingrenzt. Häufig kommt auf den starren Abschnitten der Leiterplatte ein teures Dielektrikum zum Einsatz. Die Polyimidfolie des flexiblen Teils weist demgegenüber eine andere Dielektrizitätskonstante auf. In diesem Falle muss man sich folglich darauf einstellen, dass die Leiterbahnbreiten in den starren und flexiblen Teilen der Leiterplatte unterschiedlich sind.

Selbst die Materialstärke hat Auswirkungen auf die Impedanz. Je dünner

das Dielektrikum ist, umso höher wird die Kapazität einer Signalleitung sein. Diese Kapazität wirkt sich wiederum auf die High-Speed-Eigenschaften des Board aus.

Ein weiterer Aspekt ist, dass das flexible Substrat ein Teil der starren Leiterplatte ist. Während Polyimidfolien und gewalztes, weichgeglühtes Kupfer für hohe Signalintegrität im flexiblen Abschnitt der Leiterplatte sorgen, passen sie nicht zu den Dielektrika im starren Teil des PCB. Es kann zudem auch schwierig sein, Bauelemente auf dieser Folie zu platzieren und aufzulöten.

Ähnliches Layout bei beiden Leiterplattentypen

Das Layout einer Flex-to-Install-Leiterplatte ähnelt jenem eines Dynamic-Flex-PCB. Der Lagenaufbau ist somit auf die gleiche Weise zu gestalten und es sollten auch ähnliche Designregeln angewandt werden.

Trotz der Verwendung unterschiedlicher Werkstoffe und Materialstärken sollte das ECAD-Tool die Impedanzen der Signalleitungen automatisch in engen Grenzen halten, indem es im starren und flexiblen Teil der Leiterplatte unterschiedliche Leiterbahnbreiten verwendet. Auch hier sollte man vorsichtig mit der Anwendung übermäßig strikter Designvorgaben sein, da sie die Kosten der Leiterplatte unbemerkt in die Höhe treiben können.

Das Design von High-Speed-Leiterplatten ist bereits schwierig genug und wird noch aufwändiger, wenn diese Boards flexibel sein sollen. Wenn man die gestellten Anforderungen zu Beginn analysiert, hilft dies bei den notwendigen Abwägungen. Mit den richtigen Kompromissen und guten ECAD-Tools sind auf jeden Fall die Voraussetzungen für ein erfolgreiches Design starr-flexibler High-Speed-Leiterplatten gegeben. go



Benjamin Jordan

ist als Director, Community Tools and Content bei Altium beschäftigt. Ben schloss ein Studium als Computer-Systems- und PCB-Ingenieur ab und sammelte seither mehr als

20 Jahre Berufserfahrung mit Schwerpunkt auf Embedded-Systemen und PCB-Design.

ben.jordan@altium.com