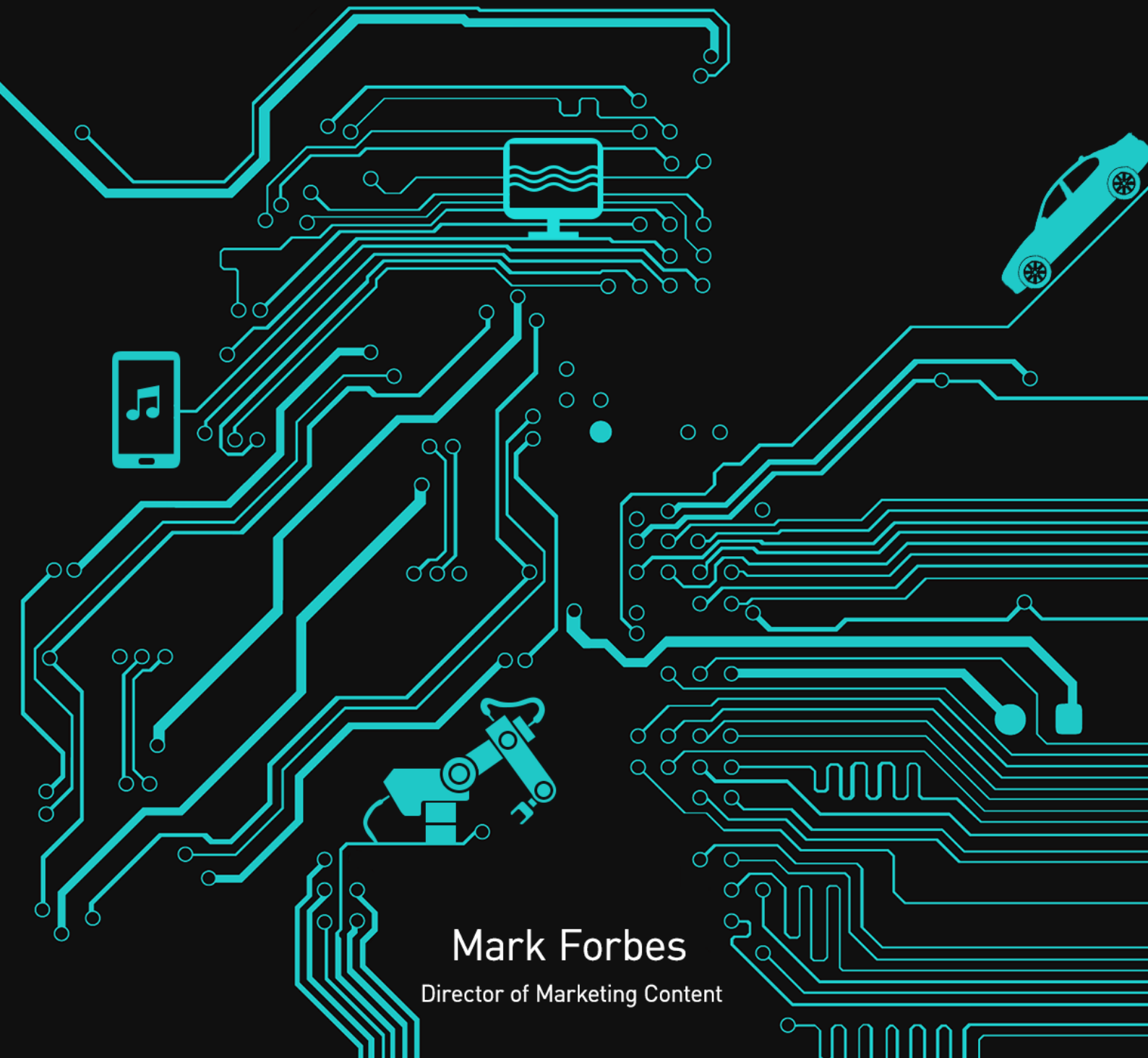




RÉSOLUDRE LES PROBLÈMES DE ROUTAGE DE CIRCUITS IMPRIMÉS MODERNES



Mark Forbes

Director of Marketing Content

RÉSOUTDRE LES PROBLÈMES DE ROUTAGE DE CIRCUITS IMPRIMÉS MODERNES

INTRODUCTION

« Chérie, j'ai rétréci les gosses. » « Le monde est petit. » Ces deux titres sont bien connus des fans de Disney, mais ils seraient particulièrement bien choisis pour décrire l'univers de plus en plus miniaturisé des circuits imprimés (PCB) (figure 1). Observons les statistiques suivantes (1) :

- La surface des cartes n'a quasiment pas changé, tandis que le nombre de fils par pouce carré a triplé au cours des 10 dernières années.
- Le nombre moyen de composants a quadruplé en 15 ans, tandis que le nombre moyen de fils par pièce a été divisé par 4 ou 5.
- Le nombre de broches par circuit imprimé a triplé et le nombre de connexions de broches adjacentes a doublé.

Les composants et les produits finis étant de plus en plus petits, les cartes de circuits imprimés sont par conséquent de plus en plus denses et complexes. La miniaturisation et la complexité croissante des circuits imprimés ne vont pas de paire sans poser quelques problèmes aux concepteurs de circuits imprimés, qui doivent s'assurer que tous les composants ont leur place et que l'ensemble fonctionne parfaitement bien. 53 % des sociétés d'électronique ayant répondu à un sondage ont déclaré que la complexité croissante des circuits imprimés constituait le principal obstacle pour tout concepteur aspirant à créer le produit le plus concurrentiel du marché le plus rapidement possible et à moindre coût. (2) Voici les principales difficultés liées au routage d'un circuit imprimé :

- Routage de matrices de billes (boîtiers BGA) avec de nombreuses broches
- Conception de circuits imprimés flexibles qui devront s'insérer dans de petits produits de forme irrégulière
- Augmentation de la densité de routage de circuits imprimés sans augmenter pour autant le nombre de couches
- Éviter les chutes de tension dans la conception de circuits imprimés complexes multicouches
- Garantir une intégration CAO électronique/CAO mécanique efficace et une meilleure communication avec les fabricants
- Inclure un nombre suffisant de points de test sur un circuit imprimé dense et complexe

Toutes ces difficultés peuvent être minimisées grâce à l'utilisation d'une suite logicielle ultra-moderne et unifiée destinée au routage des circuits imprimés.

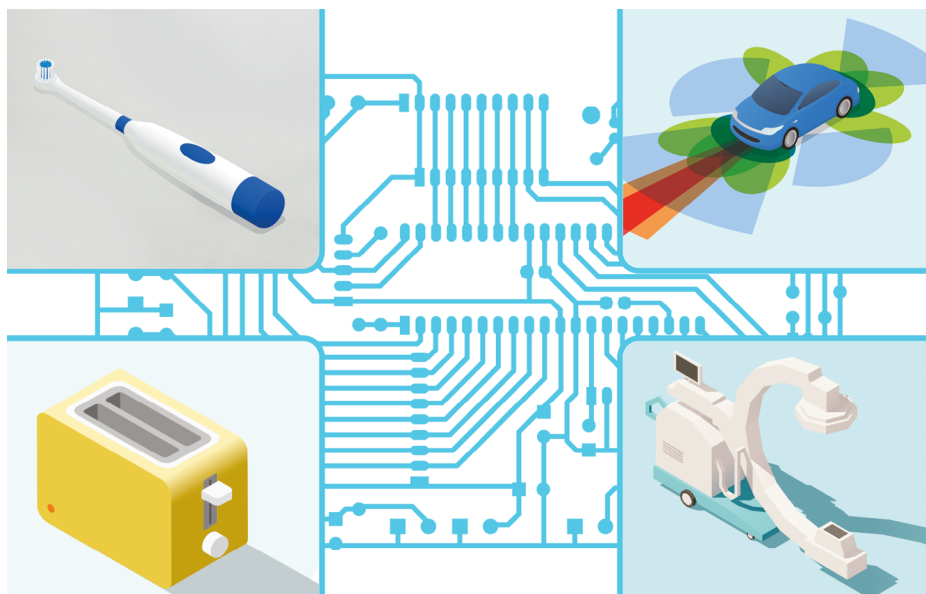


Figure 1. Dans les brosses à dents électriques, les grille-pains, les systèmes d'aide avancée à la conduite (ADAS) ou encore les équipements chirurgicaux avancés, des circuits imprimés minuscules mais de plus en plus complexes sont à notre service à pratiquement chaque instant de notre vie.

RÉSOUTRE LES PROBLÈMES DE ROUTAGE DE CIRCUITS IMPRIMÉS MODERNES

RÉSOUTRE LES PROBLÈMES DE ROUTAGE DES BOÎTIERS BGA

Les matrices de billes (BGA) sont des boîtiers couramment utilisés pour conditionner les circuits imprimés ou circuits intégrés (CI) dotés de nombreuses broches ou extrêmement denses. Les concepteurs de circuits imprimés choisissent les boîtiers BGA car c'est un système à la fois rentable et suffisamment flexible pour répondre aux besoins de miniaturisation et aux exigences fonctionnelles. Le problème, c'est que plus le nombre de broches est élevé, plus les emplacements des composants sont réduits, le « BGA breakout », c'est-à-dire le routage du boîtier BGA, devient plus difficile. Un mauvais routage peut conduire à augmenter le nombre de couches, ce qui par conséquent augmente les coûts et peut engendrer des problèmes d'intégrité du signal, un risque de délamination et des difficultés quant au respect de l'aspect ratio des vias.

Terms to Know

BGA breakout - Applying a fanout solution and routing traces from those fanouts to the perimeter of the device prior to general routing of the PCB.

Blind via - A via that starts on a surface layer but does not continue all the way through the board.

Buried via - A via that starts on one internal layer and ends on another internal layer.

Microvia - A via that has a hole diameter smaller than 6 mils (150µm). Microvias can be photo imaged, mechanically drilled, or laser drilled.

Pitch - The spacing between two adjacent balls or pins. Typically the pitch is the same in the x and y directions.

Les matrices de billes en particulier, composées de plus de 1 500 broches, constituent un véritable défi pour le routage (figure 2). En règle générale, le routage est réparti en deux étapes. Tout d'abord, le concepteur doit connecter les billes du boîtier BGA situées à la surface aux couches internes du circuit imprimé : c'est ce qu'on appelle la sortance (ou « fanout »). Ensuite, il doit connecter les vias situés dans ces couches intérieures au reste des composants du circuit imprimé. Souvent, le simple routage d'une grande matrice de billes conditionne à lui seul le nombre de couches à utiliser pour le routage.

Le pré-routage manuel du boîtier BGA représente plusieurs jours de travail pour un concepteur de circuits imprimés, mais le logiciel de conception PCB permet d'automatiser ce processus, réduisant ainsi généralement la durée de routage à quelques minutes seulement. De cette façon, un logiciel de conception PCB avancé permet de réduire les coûts de conception des circuits imprimés de même que les délais de commercialisation.

Outre le routage automatique, l'interconnexion à haute densité (HDI) permet également d'aider à résoudre les problèmes de routage des boîtiers BGA. Pour en savoir plus, vous pourrez lire la discussion sur le routage HDI plus loin dans cet article.

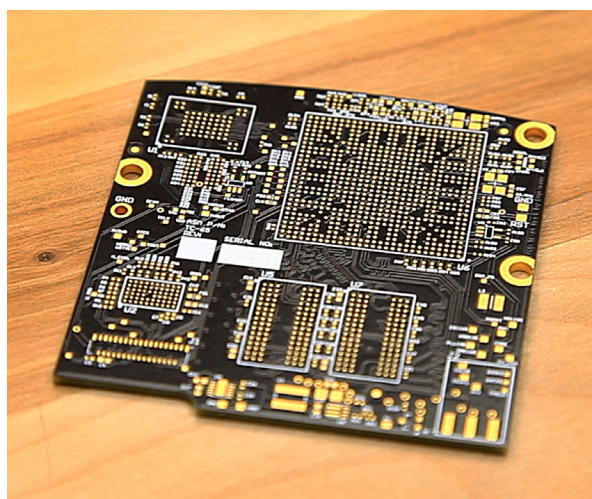


Figure 2. Router un grand boîtier BGA peut prendre du temps ; les outils logiciels de conception PCB qui disposent d'un système de pré-routage automatique assisté pour les boîtiers BGA permettent de réduire le temps de routage de quelques jours à quelques minutes. Avec l'aimable autorisation de Ingenious Designs

RÉSOUTRE LES PROBLÈMES DE ROUTAGE DE CIRCUITS IMPRIMÉS MODERNES

OÙ VOULEZ-VOUS INSÉRER VOTRE CIRCUIT IMPRIMÉ ?

Les premiers temps, lorsque l'électronique était plus simple, les circuits imprimés se présentaient toujours sous la forme traditionnelle d'un rectangle. Mais aujourd'hui, avec l'avènement des dispositifs médicaux portables et l'introduction de l'électronique dans presque tous les secteurs, les circuits imprimés doivent souvent adopter une forme circulaire ou irrégulière, et s'insérer dans des espaces restreints (figure 3). Preuve que la nécessité est vraiment la mère de l'invention, les concepteurs de systèmes de routage de circuits imprimés ont mis au point des techniques de placement et de routage intelligents, dont la plus innovante s'appelle le flex-rigide.

Les cartes flex-rigides sont des cartes de circuits imprimés rigides traditionnels interconnectés par un circuit imprimé souple : ils sont pliables et peuvent être insérés dans de petits espaces ou passés dans de petites ouvertures. Lors de la conception d'une carte flex-rigide, les concepteurs doivent être attentifs à plusieurs critères susceptibles de causer des problèmes. Par exemple, les plis doivent être très précis pour que les cartes s'alignent correctement sans exercer aucune pression sur les points de connexion, et l'empilage (carte des couches du circuit imprimé) doit être conçu en tenant compte des plis prévus.

De la même manière que l'on confectionne des poupées en papier, les concepteurs de circuits imprimés utilisaient auparavant des modèles de papier pour simuler et tester leurs conceptions de cartes flex-rigides. Aujourd'hui, avec l'aide des logiciels de conception de circuits imprimés ultra modernes, la modélisation d'assemblages de circuits rigides-flex se fait en trois dimensions (3D), même pour les formes les plus inhabituelles ; le processus de conception est désormais plus rapide et d'une bien meilleure précision.

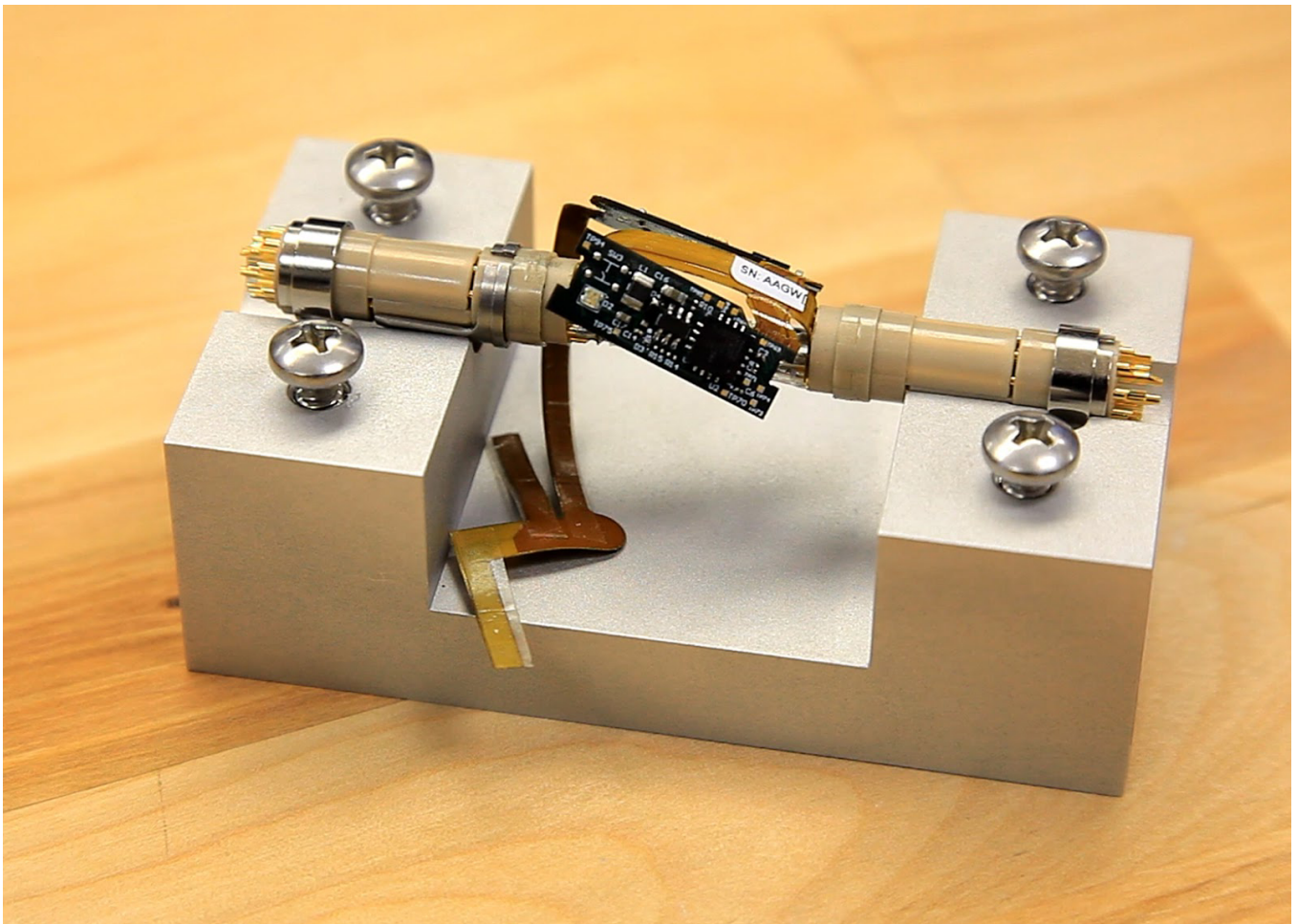


Figure 3. Cet assemblage de circuits flex-rigides Bluetooth® s'insère à l'intérieur d'un connecteur d'un scalpel à cautériser. Avec l'aimable autorisation de Ingenious Designs.

RÉSoudre LES PROBLÈMES DE ROUTAGE DE CIRCUITS IMPRIMÉS MODERNES

INSÉRER DES CIRCUITS DE PLUS EN PLUS COMPLEXES DANS DES BOÎTIERS TOUJOURS PLUS PETITS

Comme mentionné précédemment, le routage automatique permet d'optimiser la conception d'un circuit imprimé et de minimiser le nombre de couches. Pour créer une plus grande densité sur un circuit imprimé sans augmenter le nombre de couches, il est également possible de recourir à un système HDI, une technique de routage qui utilise des traces très fines ainsi que des vias borgnes, des vias enterrés et autres microvias (figure 4). Le routage HDI est généralement une technique moins onéreuse qui offre de meilleures performances s'il est bien conçu. (3)

L'interconnexion à haute densité (HDI) offre plusieurs options flexibles pour la topologie de routage et le routage de circuits imprimés. Cependant, même si le routage HDI permet de résoudre certains problèmes de routage et de densité, il apporte aussi son lot de problèmes, dont les suivants (4) :

- Un espace de travail limité sur la carte
- Des composants plus petits et un espacement plus dense
- Un plus grand nombre de composants placés de chaque côté du circuit imprimé
- Des traces plus longues, ce qui entraîne un plus long délai de transmission du signal
- Il faut plus de traces pour créer une carte

Utiliser un logiciel de conception de circuits imprimés permet aux concepteurs de circuits imprimés de résoudre ces problèmes et éventuellement de réduire le nombre de couches nécessaires.

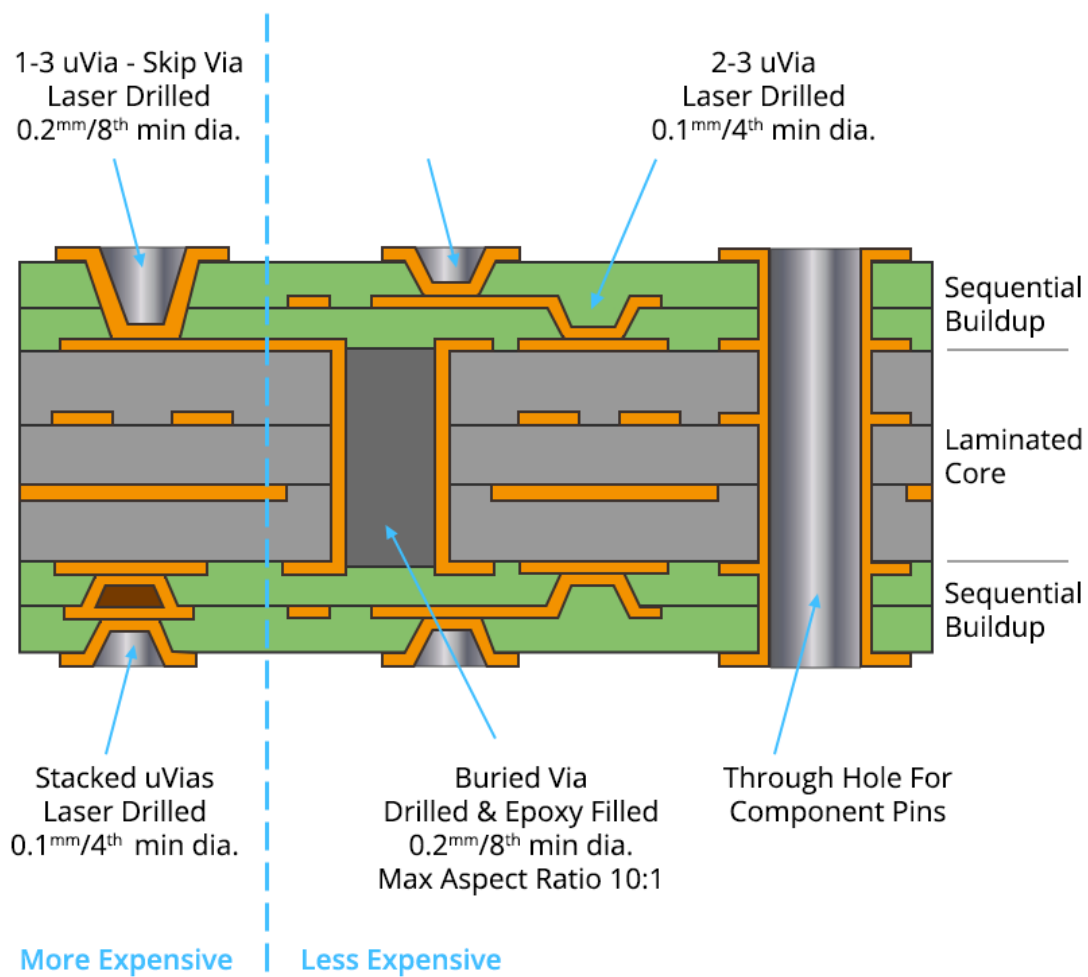


Figure 4 Un exemple de modèle HDI pour circuits imprimés denses avec matrice de billes à broches multiples.

RÉSOUTRE LES PROBLÈMES DE ROUTAGE DE CIRCUITS IMPRIMÉS MODERNES

ÉVITER LES CHUTES DE TENSION

Les premiers circuits imprimés comportaient un réseau de distribution de puissance (PDN) très simple, composé d'un grand plan de masse et d'un plan d'alimentation sur les couches internes. Une telle conception comporte certains avantages : un chemin vers la terre à faible impédance et une quantité de courant issue de cette masse de cuivre largement suffisante pour répondre aux besoins de n'importe quel circuit intégré (IC). Mais les circuits imprimés modernes ne sont plus aussi simples. Ils fonctionnent souvent sur plusieurs tensions, y compris pour un même circuit intégré, ce qui nécessite plusieurs plans de masse et plusieurs plans d'alimentation. Cela peut engendrer différents problèmes, notamment d'ordre thermique et de délamination en raison du rétrécissement du plan d'alimentation (ce qui augmente la densité du courant), ou des problèmes d'interférences électromagnétiques provoquées par des discontinuités dans le plan de masse.

Mais surtout, réduire le plan d'alimentation implique une diminution de la masse de cuivre dans le plan d'alimentation, et par conséquent une capacité de transmission de courant moindre. Lors de la commutation, lorsque le courant est à son maximum, une mauvaise conception peut ne pas être en mesure de fournir suffisamment de courant, ce qui se traduit par une chute de tension (également appelée chute de tension ohmique ou directe en continu) au niveau du circuit intégré (figure 5). Une tension insuffisante entraîne des dysfonctionnements qui, dans certains cas (comme par exemple dans les applications automobiles servant à contrôler la transmission, le moteur ou les fonctions de freinage) peuvent s'avérer catastrophiques. Pour compliquer les choses, ces chutes de tension sont souvent intermittentes, ne survenant que dans certaines conditions de commutation. Cela rend les tests ou diagnostics difficiles à effectuer à l'aide de techniques manuelles.

Heureusement, une bonne suite logicielle de conception de circuits imprimés permet d'effectuer une analyse PDN, parfois appelée analyse IR ou simulation d'intégrité de puissance DC (PI-DC), qui vérifie si la dimension et les caractéristiques des plans, des traces et des vias sur la carte sont suffisantes pour satisfaire les exigences en matière de consommation d'énergie des dispositifs de la carte. En identifiant ce qui, dans la conception, est susceptible de provoquer des chutes de tension problématiques, cette analyse permet aux concepteurs de créer des modèles de circuits imprimés fiables et efficaces.

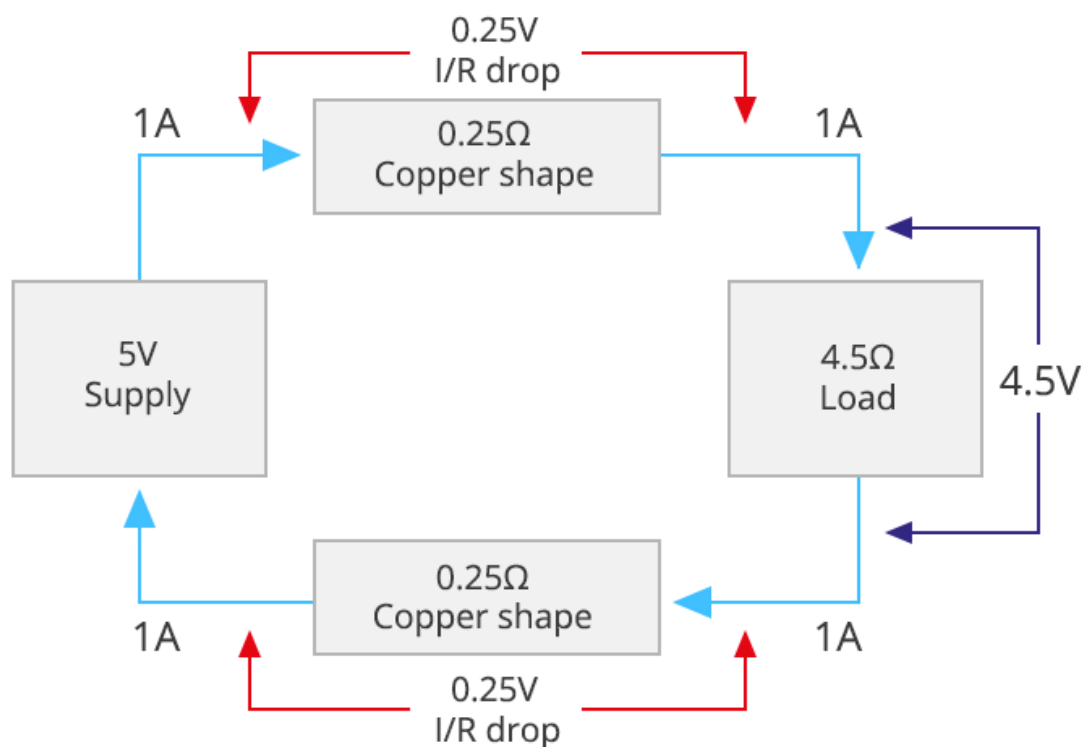


Figure 5. Bien que chaque piste de cuivre présente une résistance relativement faible (de 0,25 Ω seulement), elles entraînent toutefois une chute de tension, qui passe de 5 V à 4,5 V. Le concepteur de circuits imprimés doit connaître l'existence de cette chute et s'assurer qu'elle peut être tolérée, ou bien modifier la conception pour la réduire, afin de garantir que la conception finale ne présentera aucune défaillance en cours d'utilisation réelle.

RÉSOUTRE LES PROBLÈMES DE ROUTAGE DE CIRCUITS IMPRIMÉS MODERNES

AMÉLIORER LA COMMUNICATION ET LA COLLABORATION

Trop souvent, les ingénieurs en électricité et mécanique travaillent de manière isolée. Ce manque de communication et de collaboration peut donner lieu à des conceptions qui ne respectent pas les délais ; chaque demande de modification technique (ECO) rallonge les délais, augmente le coût de développement des produits et amenuise l'avantage concurrentiel de votre entreprise. Et même lorsque la conception est terminée, une mauvaise communication avec le fabricant concernant ladite conception peut entraîner un certain mécontentement et des inexactitudes, sans parler, une fois encore, de l'augmentation du coût et de la perte de temps que cela engendre.

Le meilleur logiciel de conception de circuits imprimés permet de résoudre les problèmes d'intégration CAO électronique/CAO mécanique en procédant comme suit :

- En intégrant tout en souplesse les flux de travail de conception mécanique dans votre outil de conception électrique
- En partageant les informations liées à la gestion de projet dans tous les domaines
- En fournissant un outil de visualisation en 3D de la conception du circuit imprimé
- En prenant en charge la vérification des espacements en temps réel pour les composants et les boîtiers mécaniques
- En activant les prototypes virtuels des éléments de conception complexes, comme les sections flex-rigides

De telles fonctionnalités évitent les problèmes de communication et permettent de terminer les conceptions à temps tout en respectant le budget.

Lorsque la conception est terminée, il est tout aussi important que votre suite logicielle de conception de circuits imprimés prenne en charge la création de la documentation qui servira à indiquer précisément ce que vous voulez au fabricant. Par exemple, le fabricant a besoin de savoir comment votre circuit imprimé et ses composants seront intégrés dans la conception d'ensemble du produit et de connaître les composants à prévoir. Pour ce faire, l'idéal est d'utiliser des impressions et des vidéos en 3D qui montrent clairement les détails de conception les plus complexes.

INTÉGRER DES POINTS DE TEST MÊME SUR LE ROUTAGE DE CIRCUITS IMPRIMÉS DENSES

Les circuits imprimés disposant d'un espace de plus en plus réduit en raison de la densité accrue des composants et de la miniaturisation, ils deviennent plus sensibles à l'instabilité, à la diaphonie et aux interférences électromagnétiques. C'est pour cela qu'il est devenu primordial de tester les circuits imprimés ; mais, ironie du sort, cela signifie aussi que l'espace disponible pour les points de test est réduit au minimum. Les concepteurs de circuits imprimés peuvent utiliser leur logiciel de conception

de circuits imprimés pour créer une conception en vue du test (« design for test »), en incorporant des points de contact pour les sondes mobiles afin que les ingénieurs de test puissent tester le circuit (figure 6).

Lors du routage des circuits imprimés denses et à haute fréquence, il est souvent difficile de réserver de l'espace sur la carte pour les points de test. Cependant, les circuits imprimés pour lesquels les fabricants ne disposent d'aucun point d'accès essentiel risquent d'avoir une couverture de test extrêmement minimisée (30 % ou moins) et de ne pas pouvoir être soumis aux tests les plus importants. La couverture de test idéale correspondrait à une accessibilité de 70 à 80 %. (5)

Les techniques suivantes peuvent vous permettre d'ajouter plus d'espace pour les points de test (6) :

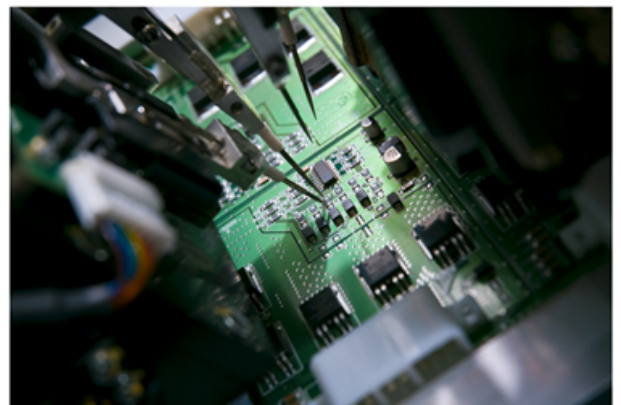


Figure 6. Pour créer une conception en vue du test, il est important de fournir des points de test adéquats dans le routage du circuit imprimé.

RÉSOUTRE LES PROBLÈMES DE ROUTAGE DE CIRCUITS IMPRIMÉS MODERNES

- Laissez une bande de masque de soudure à l'extrémité de la pastille du composant.
- Ne couvrez pas la totalité de la pastille d'un via avec le masque de soudure.
- N'utilisez que la partie de cuivre exposée laissée ouverte comme point de test.

Effectuer ces techniques manuellement peut prendre un certain temps. Cependant, si vous utilisez un logiciel de conception de circuits imprimés adapté, vous pourrez créer une conception en vue du test facilement et rapidement, et concevoir ainsi des circuits imprimés de meilleure qualité supérieure et plus performants.

GARDEZ UN AVANTAGE CONCURRENTIEL GRÂCE À L'UTILISATION D'UNE SUITE LOGICIELLE UNIFIÉE DE CONCEPTION DE CIRCUITS IMPRIMÉS

Les progrès technologiques dans le domaine de la conception de circuits imprimés sont à double tranchant. L'électronique a gagné en performance et ses domaines d'application sont plus nombreux. Mais la conception de circuits imprimés est également devenue plus complexe, multipliant ainsi les risques d'obtenir des cycles de mise sur le marché plus longs et des coûts plus élevés pour les produits. Les concepteurs peuvent minimiser ces risques en utilisant un logiciel de conception de circuits imprimés unifié, qui dispose du système d'automatisation nécessaire pour mettre des produits sur le marché rapidement tout en respectant le budget. L'utilisation d'une suite logicielle de conception de circuits imprimés unifiée offre d'autres avantages : une interface utilisateur cohérente pour la conception, les tests, la gestion de projets et la collaboration ; un référentiel de données unique pour une meilleure précision et une sécurité optimale ; une efficacité accrue résultant de l'exécution de toutes les tâches qu'implique la conception d'un circuit imprimé dans un environnement unique et cohérent.

RÉFÉRENCES

- (1) « Faire face à la complexité croissante de la conception de circuits imprimés grâce à l'automatisation » <http://www.techdesignforums.com/practice/technique/overcoming-increasing-pcb-complexity-with-automation/>
- (2) « En quoi la conception de circuits imprimés est-elle importante pour les dirigeants ? » http://www.techdesignforums.com/pcb/files/2011/05/mentorpaper_56786_pdf.pdf
- (3) « Pré-routage des boîtiers BGA et routage : seconde édition » http://www.aetpcb.com/aet/net_resources/help/BGA_Breakouts_and_Routing.pdf
- (4) « Comment intégrer davantage de complexité dans des empreintes toujours plus petites grâce au routage HDI » <https://www.altium.com/blog/pack-more-complexity-hdi-design>
- (5) Faisal Ahmed. « Une conception en vue du test négligée peut entraîner des révisions coûteuses de la conception du circuit imprimé » N.p., 2 juin 2014. Web. 20 septembre 2016. <http://www.embedded.com/design/debug-and-optimization/4430502/Overlooking-design-for-test-can-lead-to-costly-PCB-design-rework>
- (6) « Débogage - Comment minimiser la phase de débogage de votre conception intégrée » <https://www.altium.com/blog/bugging-out-how-minimize-your-embedded-design-debug-phase>

EN SAVOIR PLUS

Complexité de l'assemblage de circuits imprimés et solutions de test possibles

Le circuit imprimé flex-rigide : la réponse aux problèmes des dispositifs médicaux portables

Concevoir des circuits imprimés de forme non conventionnelle

Technologie et terminologie de l'empilage de couches pour les circuits imprimés