

Un procédé de fabrication révolutionnaire étend considérablement la portée des circuits imprimés flexibles multicouches

Jusqu'à récemment, très peu d'entreprises pouvaient fabriquer des circuits imprimés flexibles (Flexible Printed Circuits, FPC) plus longs que quelques mètres. Cependant, de nouvelles techniques de fabrication permettent dorénavant de concevoir et de produire des FPCs multicouches d'une longueur illimitée. Cela ouvre un monde de nouvelles applications qui devaient auparavant être réalisées au moyen de faisceaux de câbles classiques volumineux.

Par Philip Johnston, CEO, [Trackwise](#)

Dérivés d'un concept initialement postulé par l'inventeur Albert Hanson dans des brevets de 1902 et 1903, les FPC représentent désormais un marché mondial de plusieurs milliards de dollars. Incidemment, le terme « circuit imprimé » est un peu trompeur, car les FPC, comme leurs équivalents rigides, sont fabriqués selon un procédé soustractif dans lequel le cuivre est découpé chimiquement à partir d'un substrat pour ne laisser apparaître que les éléments de circuit conducteurs. Il n'est donc pas à proprement parler imprimé sur le substrat. Par conséquent, les FPC ne doivent pas être confondus avec les innovations récentes en matière de « printed electronics ».

Les substrats sont fabriqués à partir d'une variété de matériaux. Les polyesters et les polyimides sont populaires, mais d'autres polymères avancés sont en train d'apparaître, comme en particulier des versions thermoplastiques qui peuvent être laminées sur du tissu ou fonctionner à des températures très élevées.

Les FPC peuvent être à simple ou double face ou, pour les interconnexions à plus forte densité, multicouches. Les FPC multicouches sont généralement réalisés à partir de plusieurs circuits flexibles à une ou deux faces, reliés entre eux par des couches conductrices et isolantes et plaqués pour former un dispositif interconnecté composite.

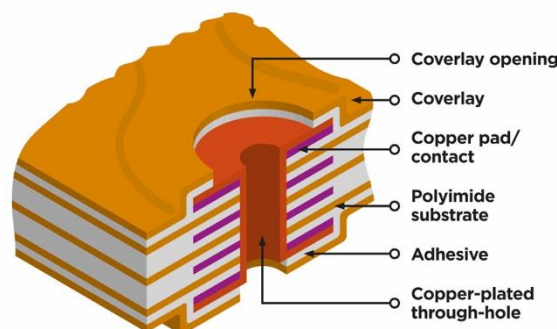


Figure 1: Construction typique d'un FPC multicouche

Dans une application, les circuits flexibles peuvent être statiques ou dynamiques. Ils peuvent être « souples pour s'adapter » (*flexed-to-fit*) dans le boîtier requis, ce qui permet d'intégrer des circuits complexes dans des structures incurvées et aérodynamiques. Alternativement, dans une conception dynamique, un circuit peut être courbé lors de son fonctionnement, par exemple en se connectant au moyen d'un ensemble articulé tel une charnière de porte de voiture.

Un seul FPC peut remplacer non seulement un câble ruban, un câblage séparé ou des faisceaux de câbles complexes, mais également des connecteurs ou même des cartes de circuit imprimé (*Printed Circuit Boards*, PCB) rigides classiques. Les FPC permettent d'économiser du poids et de l'espace, et souvent de réduire les coûts tout en améliorant les performances du circuit. De plus, en tirant parti de la nature 3D de la technologie FPC, les circuits peuvent être pliés et façonnés pour s'adapter à des facteurs de forme spécifiques, ce qui pourrait être impossible à réaliser avec des circuits imprimés et des câbles classiques.



Figure 2 : Les circuits flexibles peuvent remplacer les systèmes de câblage complexes et s'intégrer parfaitement dans ou autour des composants de la voiture, tels que les phares ou les cadres de porte.

Les FPC sont présents dans tout le spectre des produits électroniques et électriques : équipement automobile, grand public, médical, de divertissement, informatique et industriel. Ils sont largement utilisés dans les appareils portatifs tels que les consoles de jeux électroniques, les ordinateurs portables, les smartphones et les appareils photo. Les sangles thoraciques et les serre-poignets pour les appareils de sport ou de surveillance de la santé sont des exemples typiques d'application. Mais ils sont également utilisés dans des appareils minuscules tels que les prothèses auditives, les stimulateurs cardiaques et les pompes médicales. Des substrats ultra-minces et flexibles ont également permis la réalisation de patchs cutanés pour la surveillance de la glycémie ou pour la distribution de médicaments. Dans l'industrie, les étiquettes intelligentes intègrent des circuits de tags RFID pour la sécurité, la lutte contre la contrefaçon et la logistique et suivi des transports.

Résumé des avantages des FPC

- Gain de place : des substrats diélectriques très minces, certains allant jusqu'à 25 μm ou moins, ainsi que leur planéité, permettent de solidariser les circuits à la structure d'un produit ou à l'intérieur de celle-ci.
- Gain de poids : la réduction de poids correspondante est encore amplifiée du fait que moins de connecteurs et de fixations sont nécessaires. Des conducteurs plus petits et une teneur en cuivre réduite apportent une contribution supplémentaire.
- Polyvalence : les FPC sont conçus sur mesure pour pouvoir se plier, se courber et s'intégrer dans pratiquement n'importe quelle forme de boîtier.
- Robustesse : des connexions plus robustes par rapport aux faisceaux de câbles, car les feuilles plates constituant les conducteurs dans le FPC peuvent mieux dissiper la chaleur et transporter plus de courant que des fils ronds équivalents. Moins il y a de connexions d'interface, plus la fiabilité est élevée. Physiquement plus résistant que les PCB rigides aux vibrations et aux chocs.

- Température de fonctionnement plus élevée : la stabilité thermique est meilleure, en particulier avec des matériaux en polyimide, ce qui permet au circuit de mieux supporter des valeurs de chaleur extrêmes par rapport aux PCB rigides. De plus une meilleure adaptation thermique est possible.
- Diaphonie et bruit : ceux-ci sont plus facilement contrôlés en utilisant un motif de conducteur uniforme dans un circuit flexible. Les options de plan de masse incluent des films de blindage légers à hachures transversales, en cuivre massif ou en aluminium. Les vias de suture et les garde-corps internes peuvent fournir un blindage à 360°, avec des vias plaqués sur toute la longueur du circuit.
- Bonne performance CEM (électromagnétique): réduction des émissions rayonnées grâce à la boucle de masse plus petite créée par les traces de garde et meilleures caractéristiques de perte de transmission en mode différentiel.
- Dans les applications de bus de données, les caractéristiques d'impédance sont mieux contrôlées, les pertes de transmission sont réduites et les émissions de champ rayonnées plus faibles grâce à des trajets de retour de courant plus courts.
- Installation plus simple et plus fiable : assemblage plus rapide avec moins de composants ; amélioration de la répétabilité avec moins d'interventions manuelles; pas besoin de câblage avec code de couleur. Il en résulte des coûts d'installation moins élevés, une réduction des risques de rejets lors de l'assemblage et une diminution des défaillances en service.

Le processus de fabrication IHT et les nouvelles applications qu'il permet

Comme mentionné précédemment, la longueur limitée des FPC multicouches que l'on pouvait physiquement fabriquer a restreint leur adoption dans de nombreuses applications. La longueur est généralement limitée à 610 mm, bien que certains fabricants soient capables de produire des circuits de quelques mètres de long.

Un procédé breveté connu sous le nom *Improved Harness Technology* (IHT) permet maintenant de surmonter ces limites. L'IHT est un processus de fabrication rouleau à rouleau qui permet non seulement de fabriquer des FPC multicouches de n'importe quelle longueur, mais qui en outre est plus rentable car il repose beaucoup plus sur le travail de la machine.

Dans la fabrication conventionnelle de FPC, les étapes du processus, comprenant le perçage, l'imagerie, le pressage et le placage, sont basées sur un équipement qui utilise généralement des procédés statiques. L'IHT utilise des machines spécialement adaptées et des logiciels personnalisés pour permettre les processus dynamiques nécessités par la fabrication de FPC de longueur indéterminée. De plus, les processus IHT utilisent des matériaux sous forme de rouleau, par opposition aux feuilles de dimensions fixes dans lesquelles la plupart des matériaux sont fournis.

Une analyse et une planification minutieuses sont nécessaires avant de démarrer tout projet d'implémentation de FPC. Lors de la spécification des exigences, le client doit travailler en étroite collaboration avec le fabricant pour s'assurer qu'un FPC est réellement adapté à l'application. De plus, afin de s'assurer que le produit final fonctionne comme prévu, un processus de conception détaillé doit être suivi, couvrant les exigences du produit final, l'environnement d'exploitation prévu, la configuration du boîtier, les caractéristiques mécaniques et électriques et la méthode d'assemblage. Le résultat de ce processus fournira les spécifications requises par le fabricant de FPC afin de valider la conception et de fournir des devis pertinents.

Avec IHT, Trackwise vise principalement à remplacer les faisceaux de câbles conventionnels, dans lesquels les composants assemblés sont limités aux connecteurs. Les FPC longs produits par le processus IHT sont cependant essentiellement des PCB et

peuvent être peuplés de composants, en utilisant des techniques PTH (*Pin Through Hole*) ou SMT (*Surface-Mount Technology*) afin de produire un faisceau « intelligent ».

Aujourd'hui, les industries de l'automobile, de l'aérospatiale et des télécommunications profitent de plus en plus des avantages des FPC. Remplaçant les faisceaux de câbles volumineux, lourds et complexes, les circuits flexibles sont désormais utilisés pour répondre aux contraintes d'espace et de poids d'un nombre croissant de systèmes embarqués.

Dans les voitures, par exemple, les fonctions à commande électronique ont augmenté de manière exponentielle au cours des dernières années. Il peut y avoir de 30 à 100 unités de contrôle électroniques dans les véhicules d'aujourd'hui, couvrant tous les aspects de la gestion du moteur, de la sécurité passive et active et du confort des passagers. Les modèles de luxe peuvent contenir jusqu'à 1 500 fils de cuivre, totalisant environ 2 km de long ou plus, qui doivent tous être interconnectés. Ce pourcentage ne fera qu'augmenter avec l'afflux des véhicules électriques et autonomes.

Le secteur aérospatial civil suit à peu près les mêmes tendances. Dans n'importe quel avion, économiser du poids est particulièrement crucial car cela influe sur les coûts d'exploitation et les émissions de gaz.

L'IHT permet de créer une structure de circuit flexible unique pouvant couvrir les ailes ou aller du nez à la queue d'un avion. Des avantages importants au niveau des sous-systèmes et des systèmes sont obtenus, car le FPC devient lui-même un sous-système. L'IHT peut également permettre l'intégration dans le circuit de composants électroniques distribués, par exemple pour incorporer des fonctionnalités de détection et de conditionnement du signal. Cela crée effectivement une interconnexion intelligente, remplaçant entièrement les interconnexions passives des faisceaux de câbles.

Dans les applications aérospatiales, il a été démontré que les circuits flexibles réduisaient le poids de près de 75% par rapport aux faisceaux de câbles traditionnels.

Une application récente de l'IHT consiste en un harnais de 10 m de long, en 6 couches, conforme à l'arc des pistes, pour un avion de ligne commercial. D'autres projets aérospatiaux comprennent un circuit multicouche de 42 m de long dans un harnais de transfert de puissance pour un panneau solaire déployable sur un engin spatial et un FPC blindé de 26 m de long pour le transfert de puissance et de signaux sur toute l'envergure d'un véhicule aérien sans pilote (*Unmanned Aerial Vehicle*, UAV).



Figure 3 : Un circuit imprimé flexible multicouche de 26 mètres de long pour un UAV

Des applications sur des véhicules électriques commencent aussi à apparaître, et on s'attend à ce que les FPC produits selon le procédé IHT soient adoptés dans les faisceaux de câbles haute et basse tension pour les batteries de ces véhicules. Dans ce cas, le FPC peut combiner des circuits d'alimentation, de contrôle et de surveillance.

Conclusion

Avec la tendance actuelle pour le développement durable et la protection de l'environnement, les marchés de l'automobile et de l'aérospatiale vont connaître de nombreux nouveaux développements. Parmi les projets futurs figurent des véhicules électriques, des UAV, des moteurs d'avion plus efficaces et la technologie des satellites. Ceux-ci, et bien d'autres dans le domaine médical et industriel, bénéficieront de la conception et de la fabrication de circuits flexibles d'une longueur illimitée.