

TP Atelier Electronique Pratique:

Réalisation d'un Circuit Imprimé

I-Introduction

Cette TP décrit de A à Z comment réaliser un circuit imprimé, il ne fait qu'indiquer quelques unes des méthodes que l'on peut employer. Les méthodes décrites ici sont les suivantes :

- 1 - Dessin direct du circuit sur une plaque de cuivre nu avec un stylo spécial, gravure chimique, puis perçage.
- 2 - Dessin du circuit avec pastilles transfert et rubans adhésifs sur une plaque de cuivre nu, gravure chimique, puis perçage.
- 3 - Dessin du circuit avec pastilles transfert et rubans adhésifs sur une feuille transparente, insolation aux UV, révélation chimique, gravure chimique, puis perçage.
- 4 - Dessin du circuit avec un logiciel spécialisé, impression sur une feuille transparente, insolation aux UV, révélation chimique, gravure chimique, puis perçage.
- 5 - Gravure à l'anglaise avec une perceuse à main, puis perçage.
- 6 - Gravure à l'anglaise et perçage avec un logiciel spécialisé et une machine automatique.
- 7 - Utilisation d'une plaque d'expérimentation pré percée.

Mais avant de commencer à parler de ces diverses méthodes, il est sans doute utile de préciser à quoi se rapportent les quelques termes techniques qui seront employé dans les lignes qui suivent. C'est la raison d'être des quelques paragraphes d'introduction qui entament le sujet.

II-Plaque de circuit imprimé : standard et pré sensibilisée

Une plaque de circuit imprimé standard est une plaque en bakélite (marron) ou en verre époxy (verte), recouverte d'une mince pellicule de cuivre (photo de gauche). Une plaque de circuit imprimé pré sensibilisé est une plaque de circuit imprimé standard (en bakélite ou en epoxy) qui a été recouverte d'une couche de produit chimique sensible aux UV (ultraviolets). Pour ne pas être exposé aux rayonnements UV naturels du soleil, ce type de plaque est livrée avec un film protecteur anti-UV, qu'il convient de retirer au dernier moment (photo ci-dessous).



A dimensions égales, une plaque en bakélite est moins chère qu'une plaque en verre epoxy, mais elle est aussi plus fragile (elle risque plus facilement de se casser) et ne convient pas pour des montages fonctionnant à des fréquences très élevées (domaine RF analogique ou numérique). Pour l'amateur cependant, une plaque en bakélite convient très bien. D'ailleurs, si vous ouvrez un appareil électronique grand public (radio-réveil, ampli hi-fi par exemple), il y a de fortes chances que vous trouviez un circuit en bakélite. Ce qui ne sera pas le cas pour une carte mère d'ordinateur. Notons au passage qu'il existe différentes qualités de plaque de circuit imprimé, et différentes épaisseurs de cuivre. Un

circuit imprimé utilisé en haute fréquence, dans la gamme des GHz par exemple, devra être de très bonne qualité diélectrique (utiliser un circuit de type FR4 / PTFE).

**** Stylo inactinique à encre permanente ****

Ce type de stylo, dont l'encre ne laisse pas passer les rayons ultraviolets, permet de dessiner directement sur le cuivre d'une plaque de circuit imprimé standard (ne pas s'en servir sur une plaque de circuit imprimé pré sensibilisé).



Il est ainsi possible de dessiner d'abord les pastilles (ronds avec un trou au milieu, qui permettront plus tard d'effectuer le perçage pour le passage des pattes des composants), puis de les relier ensuite entre elles par des pistes (pistes qui se traduiront plus tard par des liaisons électriques) en s'aidant d'une règle. Une fois le circuit dessiné sur le cuivre, il suffit de graver chimiquement la plaque.

Remarque : une erreur fréquente conduit à dessiner le circuit imprimé à l'envers sur la face cuivre, ce qui conduit à obtenir un sens inversé côté composant. Cela ne porte pas trop à conséquence si vous n'utilisez pas de composants à plus de deux pattes (résistances, diodes, condensateurs), mais cela devient problématique pour les circuits intégrés. Vous devez dessiner le dessin à l'envers pour obtenir un résultat normal ! Cette gymnastique est un peu déroutante au début, et après s'être trompé une ou deux fois, on acquiert le bon réflexe.

III- Insoleuse / insolation :

Une insoleuse est un appareil fort simple, doté de très peu de composants, que l'on peut parfaitement fabriquer soi-même si l'on est un minimum soigneux. Ce type d'appareil est doté de 1 à 4 tubes rayonnant des UV, et est destiné à insoler des plaques de circuit imprimé pré sensibilisées (sous-entendu sensible aux UV). Il est aussi possible d'utiliser une ampoule spéciale, mais les temps d'insolation sont bien plus longs et la régularité de l'insolation n'est pas excellente, surtout pour les grands circuits.



Il existe plusieurs types d'insoleuses, mais les modèles les plus simples, de moyennes dimensions et dépourvus de minuterie, suffisent amplement pour des besoins occasionnels. Les modèles professionnels intègrent parfois une pompe à vide, qui permettent d'avoir un plaquage irréprochable entre le typon et la face cuivre de la plaque pré sensibilisée, condition sine qua none pour que l'insolation de la plaque soit parfaitement régulière et sans "bavures". Si vous optez pour un modèle d'insoleuse simple, assurez-vous que le contact du typon avec la plaque de circuit imprimé pourra être "forcé", soit par de la mousse, soit par une plaque en verre épaisse associée à des poids, pour bien plaquer l'ensemble. A ce propos, notez que le plaquage d'un circuit de petites dimensions est plus aisé que le plaquage de circuits de grande dimension. Si vous souhaitez faire plusieurs petits circuits identiques, il pourra être préférable de les faire en plusieurs fois, plutôt que de les associer tous sur une seule plaque. Le temps d'insolation moyen est de l'ordre de 3 à 4 minutes.

IV-Révéléteur / développement :

Un peu comme pour le développement de photos, il est nécessaire de passer par une étape de "développement" du circuit imprimé si ce dernier est de type pré sensibilisé et qu'il a été exposé aux UV avec une insoleuse. Le produit nécessaire pour cette étape est un produit chimique assez dangereux, qui impose le port de gants. Il se trouve sous forme liquide prêt à l'emploi ou sous forme de poudre à diluer avec de l'eau.



Le révélateur doit être mis dans une bassine en plastique (PVC) ou en verre, le temps de révéler le circuit imprimé, puis devra être remis dans son récipient de stockage juste après usage. La température optimale d'utilisation de ce produit est généralement de 20 à 24°C. Le temps de révélation peut varier de quelques secondes à quelques dizaines de seconde, mais cela reste rapide dans tous les cas, et est parfaitement visible. Pendant que vous remuez (délicatement) la bassine, vous voyez apparaître petit à petit le cuivre nu (couleur rose) aux endroits exposés aux UV, c'est à dire aux endroits qui ne devront pas subsister à l'étape de gravure finale.

V-Machine à graver / Gravure chimique :

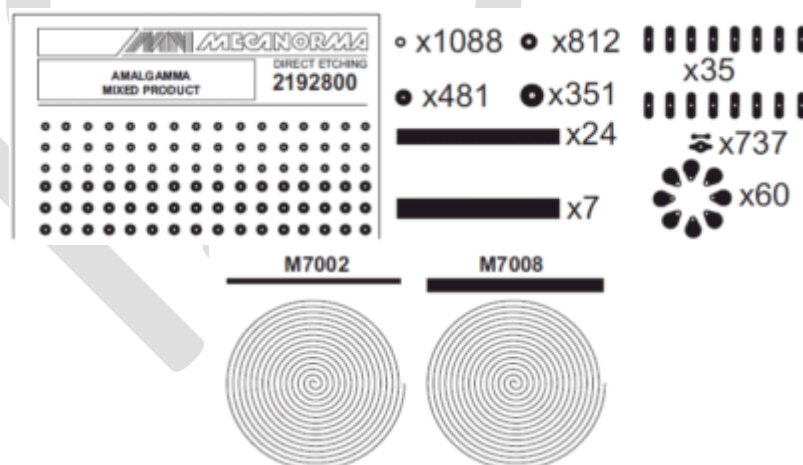
Les machines à graver sont des récipients contenant le produit attaquant le cuivre (perchlorure de fer ou persulfate d'ammonium, voir un peu plus loin).



Ces machines, qui ne sont pas indispensables (on peut se contenter d'une bête bassine) peuvent être dotés de système de création de mousse ou de bulles, habituellement sous la forme de pompe à air et de tuyaux percés de multiples petits trous. Des machines plus perfectionnées proposent même des jets tournants, mais là nous ne sommes plus vraiment dans le domaine amateur. Toujours dans le but d'accélérer le processus de gravure, ces machines sont souvent dotées de résistances chauffantes.

VI-Pastilles transfert et rubans adhésifs :

C'est une méthode qui peut paraître un peu archaïque pour les experts de la souris, mais qui se révélait bien pratique et rapide pour des circuits imprimés simples. Les pastilles transfert étaient posées sur une feuille en plastique, feuille que l'on posait directement sur le côté cuivre d'un circuit imprimé, et que l'on grattait pour transférer la pastille sur le cuivre, à la façon des décalcomanies.



Les pastilles étaient disponibles sous forme de feuilles contenant des pastilles d'une seule taille ou de tailles différentes. Les rubans quant à eux permettaient de réaliser les liaisons entre pastilles, on les déroulait au fur et à mesure de leur pose, leur coupe s'effectuant au cutter. On trouvait différentes largeurs de bandes (de 0,38mm à 1,5mm par exemple).

Remarque : je parle au passé, car après de récentes recherches, il a bien fallu que je me rende à l'évidence : ce type de procédé n'a plus la faveur des électroniciens, et Mecanorma, qui était

une marque de fabrique très connue dans ce domaine, semble avoir abandonné ce type de transfert. On les comprend un peu tout de même, il faut bien vivre avec son temps.

VII-Le typon :

Qu'appelle-t-on donc un typon ? Il s'agit simplement d'une feuille transparente, sur laquelle est dessinée en noir le dessin du circuit imprimé (ça peut être l'inverse mais nous n'en parlerons pas ici).



Cette feuille peut être une feuille spéciale imprimante laser, spéciale jet d'encre, spéciale retro-projecteur, ou ne pas être spéciale du tout (papier calque canson par exemple), l'important est que le contraste entre le dessin du circuit (en noir) et la partie où rien n'est dessinée, soit très marquée. En d'autres termes, il faut un dessin du circuit imprimé le plus noir possible (voir le moins possible en transparence quand on regarde au travers en direction d'une fenêtre en plein jour), et un transparent le moins opaque possible. Un tel typon est nécessaire quand on veut insoler une plaque pré sensibilisée avec des UV. L'avantage principal de cette méthode est de permettre l'utilisation répétée d'un même tracé pour réaliser plusieurs circuits imprimés. On place le typon contre la face pré sensibilisée de la plaque de circuit imprimé, et on expose le tout aux UV pendant un certain temps. Quelques dizaines de secondes d'insolation aux UV suffisent si le typon est parfaitement transparent, 2 à 3 minutes peuvent être nécessaires dans le cas contraire. Dans tous les cas, quelques essais s'imposent pour connaître le temps d'insolation idéal, c'est à dire celui qui convient pour votre matériel.

Remarque : il est possible d'imprimer un dessin de circuit imprimé sur une feuille blanche standard, puis d'asperger cette feuille avec un aérosol spécifique, qui rend la feuille "transparente". Les résultats peuvent être bons tout comme ils peuvent être vraiment aléatoires. Personnellement, j'ai testé plusieurs fois cette méthode et n'ai jamais vraiment été convaincu.

Photocopie, jet d'encre, laser ?

J'ai essayé toutes ces solutions, avec plusieurs types d'imprimantes (LaserJet4, LaserJet6, Deskjet500, Deskjet550, Epson) et avec plusieurs types de papier (polyester HP, 3M, Avery, papier Canson pour ne citer qu'eux). D'une manière générale, j'ai obtenu les meilleurs résultats avec des imprimantes laser. Avec les jet d'encre, des problèmes de microcoupures sur les pistes sont survenus, même avec des transparents adaptés (préconisés) et positionnés sur la bonne face. Avec les photocopieurs, je n'ai jamais réussi à avoir des aplats noirs (plans de masse) parfaits, même avec les transparents préconisés par les fabricants de ces machines. J'ai obtenu les meilleures impressions avec du papier canson transparent classique, disponible en grande surface. Ce papier ne semble pas le plus adapté au premier abord, car assez opaque. Mais c'est tout de même avec ce type de feuille que j'ai obtenu les meilleurs contrastes. Seul inconvénient que on a pu observer : le passage de ce type de feuille dans une imprimante laser

le déforme un peu à cause de la chaleur du four, et des circuits de grandes dimensions ne peuvent pas être envisagés à cause de cela. Je limite au strict minimum les dimensions de mes CI à 20 cm x 20 cm avec cette méthode.

Précaution à prendre

Il existe des tas de précautions à prendre et de règles à suivre... Je ne vais pas tout énumérer ici, pour la simple et bonne raison que je ne les connais pas toutes. Mais s'il en est une ou deux que je peux me permettre de ne pas passer sous silence, il s'agit bien de la largeur des pistes et des pastilles.

VIII-Gravure chimique :

La gravure chimique consiste à dissoudre une partie du cuivre de la plaque de circuit imprimé, que le circuit imprimé soit de type standard ou de type présensibilisé, en plongeant un certain temps la plaque dans un produit corrosif appelé perchlore de fer. En fin de gravure, il ne doit rester que le cuivre correspondant au dessin du circuit imprimé (cuivre protégé contre la gravure par l'encre, les pastilles et rubans, ou par la protection anti-UV), tout le reste doit avoir disparu. L'encre de stylo, les pastilles transferts et rubans adhésifs, ou la protection antiUV, doivent alors être retirées afin de (re)mettre à nu le cuivre et permettre, après perçage, la soudure des composants. Pour retirer la couche présensibilisée, utilisez de l'acétone, qui rend l'opération très rapide et très simple. Pensez simplement à le faire dans une pièce bien aérée...

Utilisation du perchlore de fer

On trouve le perchlore de fer sous forme liquide ou en granules. Il peut être remplacé dans certains cas par du persulfate d'amonium, qui permet des temps de gravure plus courts mais qui doit impérativement être utilisé à une température minimale de 40°C, et dont l'usage dans les machine à jets ou à bulles est interdit.



L'utilisation du perchlore de fer peut se résumer à le mettre dans une bassine en plastique (PVC) ou en verre, le temps de réaliser la gravure. On plonge la plaque de circuit imprimé dans la bassine, et on bouge légèrement la bassine afin de faire faire au produit de légères vagues au dessus de la plaque, afin d'éviter les dépôts et surtout pour accélérer le processus de gravure. Ce procédé est simple mais un peu long (20 à 30 minutes), aussi je vous conseille de prévoir un peu de musique à côté pour aider à passer le temps. Notez que la gravure est plus rapide si le perchlore est à une température plus élevée, mais ne pas abuser sur les degrés, vous auriez de sacrés surprises : restez dans la plage 25 à 43°C, au grand maximum 45°C (au delà risque d'émanation de gaz toxiques)... Ne faites pas comme moi à mes début, où j'ai fait chauffer le perchlore dans une casserole en aluminium (oh, pour sûr, je ne l'ai fait qu'une fois). Surveillez bien l'évolution de la gravure, et retirez la plaque du perchlore dès que le

cuivre qui devait être dissout l'est entièrement. Dès que la plaque est retirée du perchlorure de fer, la rincer abondamment à l'eau. Attention aux gouttes pendant le déplacement de la plaque ! Si vous prévoyez de vous lancer sérieusement dans la réalisation de circuit imprimé, je vous conseille d'opter pour une machine à graver à bulles ou à jet, qui permettra de simplifier l'opération et de grandement accélérer le processus de gravure.

Avertissement

Le perchlorure de fer est corrosif, l'emploi de gants est prescrit. Il est également très salissant, et les taches sur des vêtements sont très dur à retirer (selon la matière, ça peut même faire des trous). Lors de la manipulation de ce produit, il est donc important de se munir de vêtements qui ne craignent plus rien.

Rejet du perchlorure de fer

Le rejet de ce produit doit répondre à des impératifs qu'il convient de suivre strictement. Il est hors de question de jeter tel quel du perchlorure de fer usagé dans l'évier ou dans les toilettes ! Vous devez utiliser un neutralisant, qui doit être mélangé au perchlorure de fer afin de lui ôter ses propriétés corrosives et polluantes.

Perçage

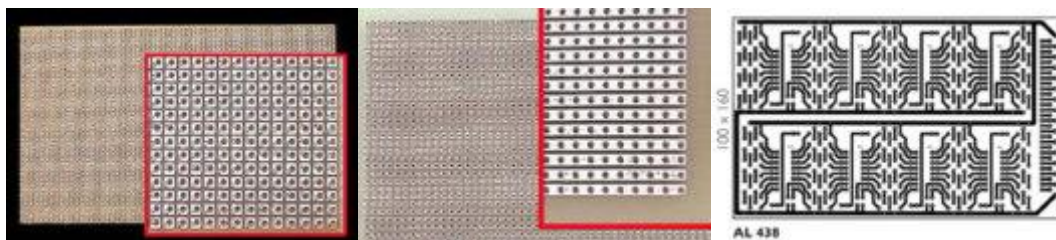
Là aussi il existe nombre de modèles de perceuses, difficile de vous dire laquelle choisir précisément. Je vous conseille cependant un modèle avec régulation de vitesse, sachant que le cas échéant il est possible de réaliser soi-même un variateur si la perceuse n'en est pas doté. Cela vous permettra d'adapter la vitesse de rotation en fonction du type de vos forets (HSS ou carbure). La perceuse devra pouvoir atteindre les 30000 tours par minute si vous voulez utiliser des forets au carbure, 20000 tours par minute suffisent pour des forets HSS. Personnellement, j'ai commencé avec une perceuse de base tournant à 15000 tours par minute, elle à 30 ans et fonctionne toujours, mais je ne m'en sers plus que pour le perçage de plastique. Entre temps j'ai tout de même acheté un modèle professionnel (Dremel) avec support colonne, pour "accélérer la production".

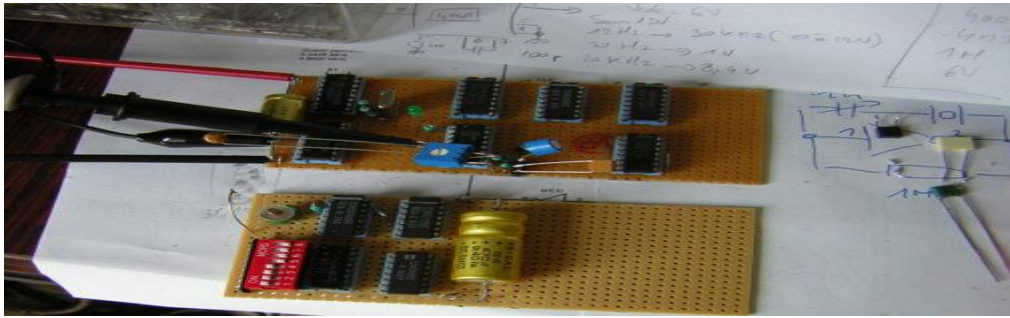
Forets HSS ou carbure ?

Les forets HSS sont moins chers, moins fragiles, mais durent peu de temps, surtout s'ils sont utilisés pour percer de l'époxy (dans ce cas, n'espérez pas faire plus de 50 à 100 trous avec un seul foret). Les forets carbure sont chers, fragiles, et durent plus longtemps... si on ne les casse pas avant l'usure ! Je vous conseille des forets HSS pour des perçages occasionnels de plaques bakélite et si vous n'avez qu'une perceuse à main. Si vous disposez d'une perceuse à colonne, le risque de cassure d'un foret carbure est bien moindre, je vous conseille dans ce cas ce type de matériau.

Plaque d'expérimentation

Ce type de plaque est composée de pastilles ou de bandes de cuivre pré percées, et se prête bien aux essais. Elle est idéale en phase de développement ou lors de la mise en pratique de schémas anciens ou incertains, avec lesquels on pressent qu'il va falloir quelques adaptations.





Ce type de plaque n'est pas uniquement utilisé par les amateurs, mais aussi par les professionnels, quand il s'agit de "petits" prototypes à faire rapidement. Il existe même des logiciels de placement de composants spécifiquement dédiés à ce genre de plaque, voir par exemple [VeeCad](#) .

**** Les Etapes suivantes sont pour plus améliorer la qualité des circuits imprimés à réaliser ****

Etamage

L'étamage consiste à recouvrir le cuivre nu d'une couche d'étain, et permet de protéger le cuivre contre l'oxydation. On peut pour cela utiliser de l'étain liquide (étamage à froid) ou utiliser de la soudure chaude : à la vague pour les professionnels, ou à la main, avec son petit fer, quand c'est pour soi.

L'avantage principal d'un étamage du circuit imprimé est de supprimer ou de limiter très fortement l'oxydation du cuivre, et de pouvoir ainsi souder les composants plusieurs jours après avoir réalisé le CI. On peut plus facilement se permettre quelques pauses en cours d'implantation des composants.

Vernissage

Une fois les composants placés et soudés sur le circuit imprimé, que ce dernier soit ou non étamé, il est possible de recouvrir la surface du CI, côté soudures, d'un vernis de protection.

Certains vernis sont appelés vernis de tropicalisation, car permettant de limiter l'effet des variations climatiques (température et hygrométrie) sur l'usure du circuit imprimé. Pour un usage avec des hautes tensions, utiliser un vernis adapté, appelé à juste titre vernis spécial haute tension. Il n'est pas toujours possible de vernir un circuit imprimé. Dans certains domaines (hautes fréquences notamment), la présence de vernis peut altérer le fonctionnement du montage. Quand on réalise un circuit imprimé en "amateur", le vernis est déposé sur l'ensemble du circuit, c'est à dire même sur les soudures. Si l'on a besoin de souder à nouveau à un emplacement donné, le vernis peut être gênant. Certains se "désagrègent" bien dès qu'on les chauffe avec le fer à souder, mais d'autres sont tenaces et rendent la (re)soudure vraiment difficile. Il existe heureusement des solvants pour éliminer efficacement le vernis, qui permettent de nettoyer la zone sur laquelle on veut travailler. Reste après à décider si oui ou non on veut remettre du vernis.

Nettoyage de salissures dues au perchlore de fer

Il existe peu de produits capables de faire totalement disparaître des taches de perchlore de fer. Comme les résultats d'un nettoyage sont rarement pires qu'avant le nettoyage, vous n'avez pas grande chose à perdre. Vous pouvez utiliser du détachant anti-rouille (portant le doux nom d'acide oxalique), disponible en droguerie. Vous pouvez aussi utiliser du détachant spécial

perchlorure de fer, disponible sous forme de poudre à diluer, et que l'on peut trouver chez les revendeurs de composants électroniques.

Les logiciels de CAO - Saisie de schéma et de routage

Pour nos TP les logiciels de CAO à utiliser (CAO = Conception Assistée par Ordinateur), sont :

- **Cirmaker.**
- **Traxmakr**

ISSIG