

Chapitre 3. Technique de câblage des circuits électroniques

IV. 1 Introduction

Un circuit électronique est un ensemble constitué de composants (résistances, condensateurs, transistors, circuits intégrés, ...) reliés électriquement entre eux par des conducteurs de cuivre. Pour réaliser un circuit imprimé, on utilise un support isolant (résine époxy, bakélite, ...) sur lequel semble collé des bandes de cuivre. En pratique, une feuille de cuivre (épaisseur courante : 35 μm ou 70 μm) est collée sur la totalité de la surface du support. Les pistes sont dessinées en éliminant le cuivre superflu, soit par détournage à l'aide d'une fraise, soit par réaction chimique d'un « acide » (par exemple, le perchlorure de fer). La première technique est principalement utilisée pour concevoir des prototypes. La seconde nous intéresse davantage car elle est facilement reproductible.

Cela nous amène donc à nous demander : Quels sont les différentes étapes, de la conception à la fabrication, dans la réalisation d'une carte électronique?

Nous étudierons tout d'abord la conception par ordinateur du circuit électronique, puis la préparation du circuit imprimé et pour terminer la mise en place et la soudure des composants.

IV. 2 La conception sur ordinateur

a) Réalisation du schéma

Les logiciels de saisie de schéma vous permettent de dessiner les schémas électroniques en posant sur une feuille, des objets tout faits qui représentent les composants que l'on rencontre en pratique (résistances, diodes, transistors, connecteurs, etc), et de les relier ensuite entre eux par des fils de liaison (tout ça en virtuel, ça va de soi). Certains logiciels de saisie comportent des bibliothèques de composants bien fournies (6000 composants par exemple), d'autres vous obligeront à créer vous-même beaucoup de composants (bibliothèque d'origine de "seulement" quelques centaines de composants). Les logiciels professionnels permettent de produire un fichier spécial appelé Netlist, qui décrit dans un simple fichier texte, l'ensemble des composants utilisés et les connections effectuées entre eux durant la saisie du schéma. Ce fichier Netlist peut ensuite être récupéré par un logiciel de routage, qui sait donc tout de suite quels composants devront être placés sur le circuit imprimé et comment ils devront être reliés entre eux. La figure 1 présente un schéma d'un astable à l'aide du circuit NE 555 sous le logiciel Proteus 8 professionnel

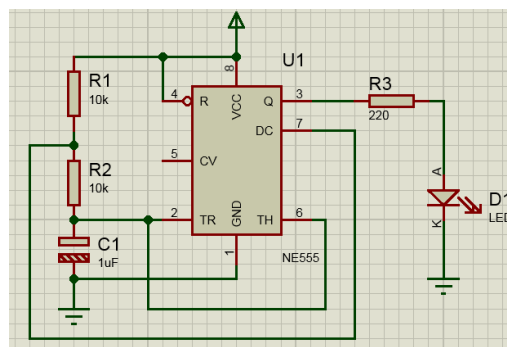


Figure 1: Temporisateur à NE 555

b) Simulation

La simulation permet d'observer le comportement d'un montage électronique, en appliquant des signaux spécifiques (signaux logiques ou analogiques) à des emplacements "stratégiques" (pas forcément sur une "entrée principale"), et en regardant la forme des signaux à l'aide d'appareils de mesure virtuels (analyseur de spectre, oscilloscope, voltmètre, analyseur logique, etc).

c) Routage (placement des composants)

Le placement des composants et le routage des pistes est l'opération finale tant attendue, qui vous permettra de sortir sur papier ou dans un fichier informatique, ce si beau dessin qui fait tant rêver quand on regarde les circuits des autres. Notez que les opérations de saisie de schéma et de simulation ne sont nullement requises pour pouvoir effectuer le routage, mais

elles peuvent apporter un certain confort et une certaine sécurité. Pour ma part, je préfère dessiner le schéma avant d'effectuer le routage, car le logiciel qui me sert pour le routage (ARES) est très étroitement lié (par une netlist) au logiciel qui me sert pour la saisie (ISIS), ce qui permet un contrôle permanent entre schéma et implantation des composants : si je ne me trompe pas lors de la saisie du schéma, je ne peux pas me tromper lors du routage.

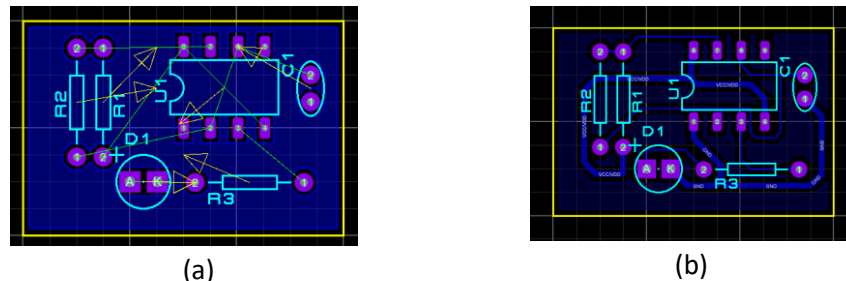


Figure 2: Routage du schéma : (a) avant le routage, (b) après le routage

d) Auto-placement et Auto-routage

- L'auto-placement est un procédé qui permet le placement automatique des composants sur une zone de circuit imprimé préalablement délimitée. L'auto-placement peut concerner tout ou partie des composants de la platine, ce qui permet par exemple de fixer manuellement l'emplacement de certains composants (connecteurs en bord de circuit par exemple), et de laisser le moteur de placement se débrouiller seul pour le reste. Le logiciel que j'utilise possède cette fonction, mais je ne l'utilise jamais (encore une fonction achetée pour rien).
- L'auto-routage est un procédé qui permet un tracé automatique des pistes entre les divers composants. Vous placez les composants selon votre souhait, et vous lancez la machine, qui dessine alors devant vos yeux les pistes les unes après les autres. Certains moteurs de routage incorporent même des stratégies de remise en cause, permettant de supprimer des pistes déjà placées pour tenter d'autres voies (cela améliore le taux de réussite finale).

IV.3 Câblage imprimés.

Constitution de la plaque : La plaque de circuit imprimé (voir figure 3) est composée :

- d' un matériau conducteur du cuivre,
- d' un matériau isolant en époxy,
- d' une couche photosensible,
- d' un film protecteur.

Toute la phase de préparation de la plaque a pour but d'enlever la résine puis une partie de la couche de cuivre pour que le cuivre restant forme les pistes que nous avons définies dans l'étape conception avec les logiciels CAO.

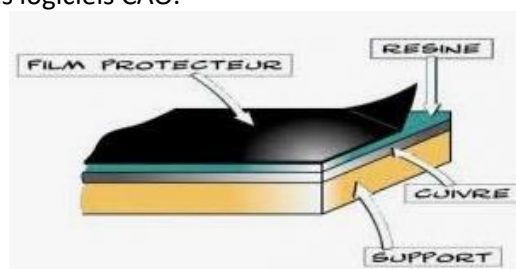
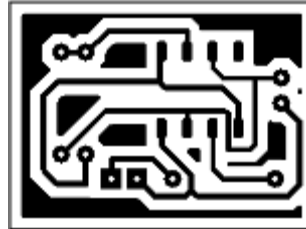


Figure 3: constitution de la plaque**Imprimer le typon**

Le typon est un dessin du circuit imprimé (pistes et pastilles) effectué sur un film transparent (Figure 4). Le typon sera utilisé pour réaliser le circuit imprimé par photogravure (prochaine étape). Le typon est donc produit d'après le routage effectué précédemment.

**Figure 4:** typon du montage de figure 1

Nous observons facilement comment seront les pistes. Il nous faut donc à présent réaliser le typon sachant que plus le support est transparent et plus l'encre est opaque, meilleur sera le résultat.

Plusieurs techniques peuvent être utilisées,

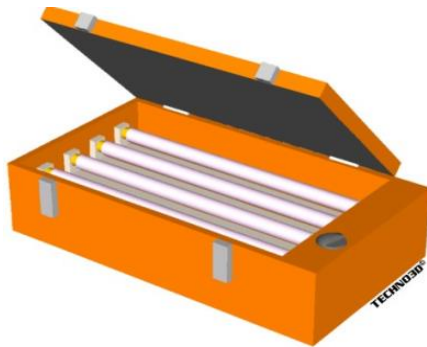
- Impression laser sur transparent
- Impression jet d'encre sur transparent spécial (micro-granulé)
- Photocopie d'un original papier bien contrasté sur transparent photocopieur
- Impression laser sur du calque
- Impression jet d'encre sur du calque spécial jet d'encre.

Ces techniques sont assez accessibles en termes de coût et de facilité de mise en œuvre, en revanche la qualité du typon est limitée par la qualité d'impression des imprimantes. Pour réaliser des typons avec une forte densité, des pistes très fines et proches les unes des autres, d'autres techniques utilisées dans le monde professionnel et industriel sont disponibles. Ces techniques sont basées sur la photogravure. Cela consiste à réaliser un film positif du circuit sur un support mylar (niveau professionnel) ou aluminium (niveau industriel).

Pour fabriquer ce film, il faut présensibiliser le support grâce à un aérosol spécial. Ensuite il faut l'insoler à partir du typon papier (lumière blanche ou UV suivant le type), puis le développer avec du révélateur spécial. Le résultat est un noir très opaque sur un support bien transparent aux UV, et tout cela avec la précision de la photogravure qui est bien au-delà des 300 ou 600 dpi de nos imprimantes. C'est une technique complexe et onéreuse qui n'est pas vraiment justifiée pour l'amateur, car elle nécessite un matériel et un savoir-faire particulier. Maintenant que nous avons réalisé le typon, nous allons pouvoir l'utiliser pour procéder à l'insolation.

- **Insolation de la plaque époxy**

Après avoir retiré le film protecteur de la plaque époxy, la résine se trouve à la surface. Cette résine a pour propriété de se modifier lorsqu'elle est exposée aux rayonnements Ultra Violet (UV), elle est dite photosensible. Cette propriété est intéressante car il suffit d'isoler des UV certaines parties de cette résine pour qu'elle ne soit pas modifiée. On comprendra l'intérêt d'avoir modifié une partie de cette résine lors de la révélation (étape suivante). Il va donc falloir exposer notre plaque aux UV (c'est ce qu'on appelle l'insolation de la plaque). Pour cela on utilise une insoleuse.

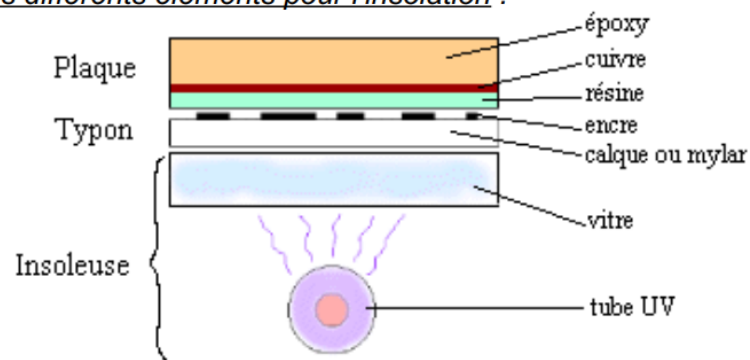


- Une insoleuse est principalement constituée de puissants tubes néon UV et d'une vitre totalement transparente sur laquelle on déposera la plaque.
- Une fois fermée elle ne laisse pas passer la lumière car les UV présentent un danger particulièrement pour nos yeux.

Une insoleuse

Maintenant nous allons utiliser le typon que nous avons obtenu dans la phase précédente. On l'intercale entre les tubes UV et le côté résine de la plaque comme illustré ci-dessous.

Placement des différents éléments pour l'insolation :



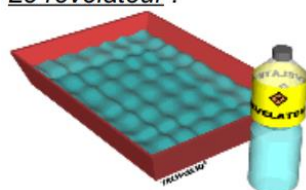
On comprend à présent mieux pourquoi il faut que les pistes imprimées sur le typon soit très noires et donc très opaques aux UV et le reste du support très transparent afin de laisser la voie libre aux UV. Ainsi la résine sera modifiée pendant la phase d'insolation uniquement sur les zones de la plaque exposées aux UV donc toutes celle où il n'y aura pas de piste dessinée, alors que les parties non exposées resteront intactes.

La révélation

Le révélateur est un produit chimique que l'on peut le fabriquer soi-même, puisqu'il s'agit d'une simple solution de soude caustique à 7g/l comme le Destop (produit pour déboucher les canalisations). Cependant on la trouve à l'achat déjà dosée. Sa manipulation nécessite des précautions comme le port de gants.

L'efficacité du révélateur est meilleure quand il est tiède. On doit maintenant placer la plaque dans un bac contenant le révélateur.

Le révélateur :



On utilise une cuvette pour placer le révélateur puis la plaque.

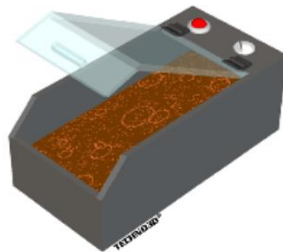
Le révélateur va dissoudre les zones de la résine qui ont été détruites pendant l'insolation. La couche de cuivre va progressivement apparaître autour des pistes qui sont encore protégées par la résine. Une fois la plaque révélée elle est sortie du bac et rincée à l'eau.

Maintenant que nous avons fait apparaître la couche de cuivre autour des pistes protégées par la résine, il faut la détruire.

Graver le circuit imprimé

Notre plaque est plongée dans un bac à graver qui contient un produit acide: le perchlorure de fer. Cet acide va dissoudre le cuivre autour des pistes protégées par la résine. Le Perchlorure de Fer suractivé est un liquide de couleur marron très foncé. On l'utilise pour graver les circuits imprimés car il a la particularité de détruire (par réaction chimique) tout le cuivre qui n'est pas recouvert de résine photosensible.

Cela a pour conséquence de ne laisser sur la platine que les pistes qui nous intéressent.



- Il peut contenir une résistance de chauffage et un bulleur pour accélérer la réaction chimique

Une fois votre circuit gravé, il reste à enlever les traces de résine qui subsistent sur les pistes protégées. Nous utiliserons pour cela du dissolvant, ou encore de l'acétone. Le but est d'obtenir un circuit avec des pistes bien nettes et sans aspérités.

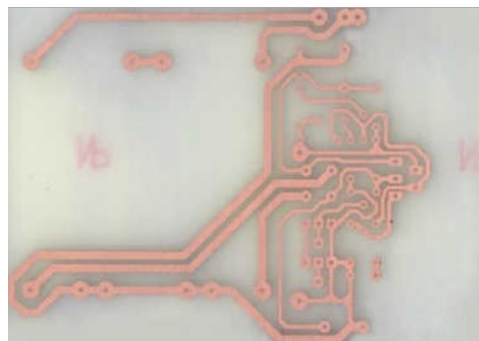


Figure 6: Circuit Imprimé Final

Notre circuit imprimé est maintenant terminé il ne reste plus qu'à souder les composants pour former le circuit électronique.

IV.4 Mise en place et soudure des composants

Il existe plusieurs technologies de composants, le circuit imprimé que nous avons conçu dans les étapes précédentes est destiné à accueillir des composants dit traditionnels. Mais il existe aussi des composants SMD*.

1 – Les composants traditionnels

Les composants traditionnels sont facilement manipulables à la main. Ils sont de taille moyenne et l'épaisseur des cartes est donc assez importante.

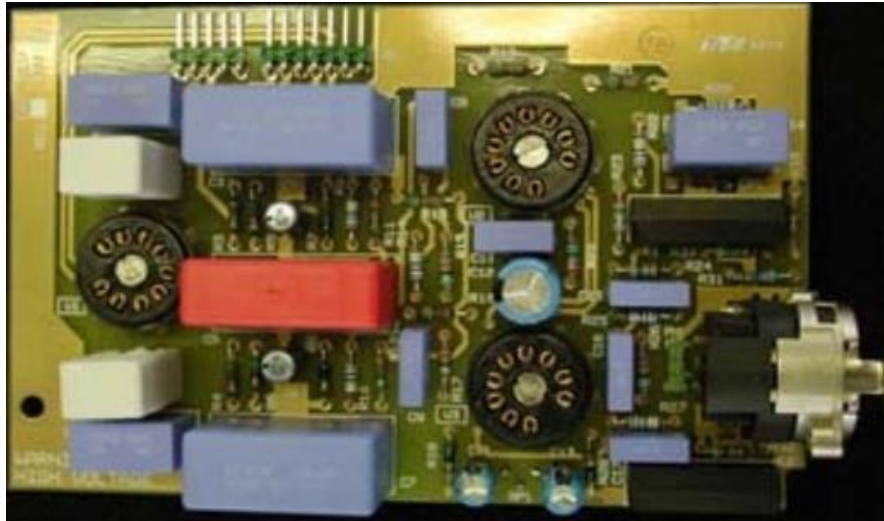


Figure 7 : Carte électronique réalisée en composants traditionnels

Les composants sont généralement placés manuellement. La soudure des composants s'effectue en manuel ou à la vague.

A - Percer le circuit

Avant de souder les composants, il nous faut percer les pastilles. Ces trous correspondent à l'emplacement des pâtes des composants. Pour cela on utilise une perceuse à colonne.



- On place le circuit imprimé sur le support.
- On choisit la taille du foret en fonction des composants qui devront être soudés (entre 0.6mm et 1.5mm)

Perceuse à colonne

Une fois toutes les pastilles percées au bon diamètre on va pouvoir souder les composants.

B - Souder les composants

A présent on doit placer les composants sur la plaque en s'aidant du schéma. Pour souder on utilise un fer à souder et de l'étain car c'est un métal facilement manipulable et que sa température de fusion est assez basse (il fond facilement).

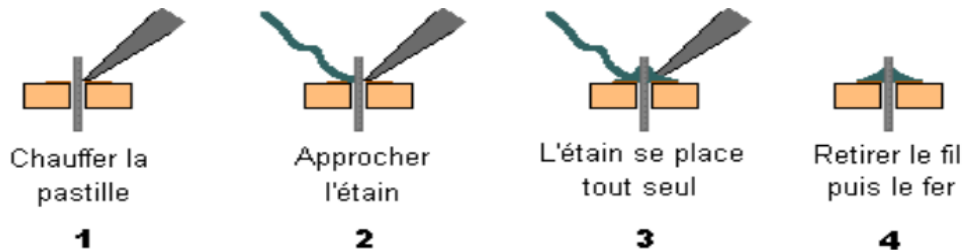
Un fer à souder :



- La partie métallique s'appelle la panne, c'est la partie qui chauffe.
- On utilise l'extrémité de la panne pour faire fondre l'étain lors de la soudure.

Cependant les soudures doivent respecter quelques règles.

Les 4 étapes d'une soudure :



Une mauvaise soudure peut par exemple conduire à des courts circuits si deux pistes sont reliées par erreur. Maintenant que nous avons détaillé la procédure de mise en place et de soudure des composants traditionnels nous allons étudier celle, bien plus complexe, des composants SMD.

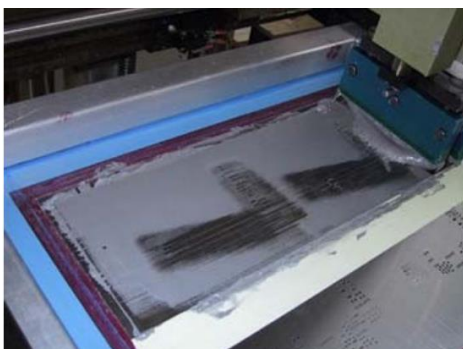
2 – Les composants SMD

Cette technologie de composant est destinée au monde industriel. Elle implique la mise en œuvre de nombreuses machines et les étapes de fabrication sont différentes de celles que nous avons détaillées pour les composants traditionnels. En voila les grandes étapes.

A - Dépôt de pâte

On dépose un masque sur le circuit imprimé, les trous du masque correspondent aux endroits où les composants seront soudés.

Dépôt de pâte pour soudure SMD :



Nous pouvons voir ici l'application de la pâte sur le circuit imprimé par une machine.

B - Placement des composants

Une machine appelée placeur dispose les composants SMD sur le circuit imprimé. Cela permet de placer plus de 10000 composants à l'heure. On comprend mieux l'utilité d'une telle machine lorsque l'on sait qu'une carte mère d'ordinateur peut contenir plusieurs centaines de composants.

Machine de placement :



C – Soudure

Le soudage des composants s'effectue soit dans un four à infra rouge soit en « phase vapeur ». L'avantage du four à infrarouge est sa rapidité alors que la précision de soudure est meilleure dans le cas du four en « phase vapeur ».

- Soudure à la vague: On pose sur la machine la carte et les éléments à souder qui sont préchauffés avant d'être passés au raz d'une vague de soudure à l'étain. La quantité de soudure dépend de la hauteur du circuit par rapport à la vague.
- Soudage à infra rouge: Ce four se présente sous la forme "tunnel chauffant". On place les cartes à souder sur un convoyeur. La température du four est généralement programmable en fonction des besoins.

Four de soudage :



- Soudage en phase vapeur : Ce four est constitué d'un liquide inerte fluoré. On chauffe le produit à 215° à cette température il produit une vapeur dans laquelle on trempe le circuit à souder. Ensuite on sort le circuit de la vapeur pour le refroidir. Contrairement à la soudure au four à infra rouge, la qualité des soudures n'est pas influencée ni par la taille des composants ni par leur couleur.

IV. 5 Conclusion

En conclusion nous avons étudié toutes les étapes dans la réalisation d'une carte électronique de sa conception jusqu'à sa fabrication. Pour cela nous avons étudié toute l'étape de conception grâce à des logiciels spécialisés permettant de réaliser facilement des schémas fonctionnels et électriques puis de gérer le routage du circuit.

Ensuite nous avons détaillé les différentes étapes dans la fabrication du circuit imprimé, à savoir l'impression du typon, l'insolation, la révélation puis la gravure ainsi que les différentes techniques pour mettre en œuvre cette procédure de fabrication. Pour finir nous avons relevé les différentes technologies de composants tels que les composants traditionnels et les composants SMD. Ces technologies impliquant chacune des procédures de fabrication très différentes, l'une réservée à un usage industriel, l'autre relativement accessible à tout un chacun.

Bibliographie Sites Internet :

www.lelectronique.com

www.techno-flash.com

www.abcelectronique.com

www.chez.com/xizard/

<http://aleph2at.free.fr/>

<http://membres.lycos.fr/techno3d/>

<http://lewebelectronique.free.fr/>

<http://lemewww.epfl.ch>