



CIRCUITS ELECTRONIQUES

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

EURELEC

COURS DE BASE ELECTRONIQUE

(21)

CIRCUITS ELECTRONIQUES 4

LES CIRCUITS IMPRIMES

Depuis les débuts de l'électronique, peu de progrès avaient été faits dans le raccordement des différents éléments constituant un ensemble électronique.

Les fils et les câbles ont bien subi des améliorations mais les circuits réalisés en câblage conventionnel restent lourds et très complexes.

Ces réseaux de fils et de câbles présentent trois inconvénients majeurs :

- ils demandent trop de cuivre,
- ils sont encombrants,
- ils sont chers, car leur réalisation nécessite une main-d'oeuvre très importante.

A la fin de la seconde guerre mondiale est apparue une nouvelle technique permettant d'éliminer, en grande partie, les inconvénients du câblage conventionnel.

Les connexions sont réalisées par des bandes de cuivre, très minces, collées sur un support isolant, sur lequel sont appliqués les éléments du circuit.

Le support isolant et les bandes de cuivre constituent un **CIRCUIT IMPRIME**.

Cette nouvelle technique présente de nombreux avantages.

–Le gaspillage du cuivre est fortement réduit. En effet, une bande de cuivre de 35 microns d'épaisseur et de 3 millimètres de largeur peut admettre un courant de 3 ampères.

Un fil de cuivre parcouru par la même intensité devrait avoir une section de 1 mm^2 .

– L'encombrement est considérablement réduit. La diminution de la section des conducteurs et leur forme plate conduit à des circuits très faciles à loger.

Les circuits imprimés sont presque toujours obtenus par photogravure. Ce procédé, que nous verrons par la suite, permet d'obtenir des câblages minuscules comportant un très grand nombre d'éléments.

– Les circuits imprimés sont facilement réalisables en grande série et à bas prix. Cette caractéristique permet de réaliser des appareils absolument identiques par des procédés entièrement automatiques.

I - CONSTITUTION DES CIRCUITS IMPRIMES

Un circuit imprimé est réalisé à partir d'un isolant recouvert par une couche de cuivre dont on enlèvera par la suite toutes les parties qui ne doivent pas subsister.

Le support isolant est presque toujours un produit de la catégorie des plastiques thermodurcissables. Ces matières sont obtenues à partir de RESINES relativement fluides à froid, mais qui durcissent à haute température suivant une réaction irréversible.

Les supports isolants peuvent être classés dans deux catégories différentes : LES ISOLANTS SOUPLES ET LES ISOLANTS RIGIDES. Ces derniers sont les plus couramment utilisés.

I - 1 - LES ISOLANTS SOUPLES

L'emploi des isolants souples est limité à la réalisation des bobines à grand nombre de tours. Ce sont des matériaux minces tels que le papier ou la toile de verre que l'on a trempé dans un produit polymérisable. Ces isolants peuvent être courbés très facilement. Il faut cependant limiter le rayon de courbure à 1 cm. Au-delà de cette limite, le support et les bandes de cuivre risquent d'être endommagés.

I - 2 - LES ISOLANTS RIGIDES

Le support rigide est réalisé en général par la polymérisation à chaud, d'une succession de couches d'isolant souple ordinaire.

Le plus courant des supports utilisés est la BAKELITE.

Ce produit est obtenu en chauffant un mélange d'acide phénique et d'aldéhyde formique. C'est un matériau bon isolant dans une ambiance sèche, mais il est capable d'absorber un peu d'humidité qui est nuisible au bon isolement.

Ce support est assez cassant, surtout à basse température. Il se scie et se perce comme la plupart des plastiques durs. Il faut cependant prendre de grandes précautions pour pointer les trous car la bakélite s'écaille très facilement.

Le plus souvent, le support a une épaisseur de 1,5 mm. Sa couleur est MARRON CLAIR et il est légèrement translucide.

Un SECOND TYPE DE STRATIFIE utilise aussi le papier, mais est imprégné par une autre résine appelée RESINE EPOXY. C'est une résine d'un type voisin de celle constituant l'ARALDITE.

Les caractéristiques mécaniques et électriques sont nettement supérieures à celles obtenues avec des résines du type BAKELITE.

Ces supports sont plus solides, résistent mieux à la chaleur et possèdent une résistance d'isolement supérieure.

Les supports EPOXY se reconnaissent à leur couleur JAUNE CLAIR.

Le TROISIEME TYPE DE STRATIFIE utilise aussi la RESINE EPOXY, mais le support est en TISSU DE FIBRE DE VERRE appelé SILIONE.

Ce stratifié est translucide et a souvent des reflets verdâtres. On distingue très nettement le tissu de verre dans son épaisseur.

Il possède une grande résistance mécanique. La présence de fibre de verre ne facilite pas son découpage, et il détériore souvent les outils. Il résiste très bien à la chaleur et se caractérise par une très grande résistance d'isolement.

Nous parlerons enfin d'un QUATRIEME PRODUIT, tout à fait différent, LE TEFLON.

Il s'agit d'un isolant massif, et non d'un stratifié. On le lamine à chaud et la feuille de cuivre est collée sur une de ses faces.

Cet isolant a des propriétés remarquables, et il est surtout utilisé en HYPERFREQUENCE.

1 - 3 - LA PARTIE CUIVREE

La feuille de cuivre, collée sur le support isolant est en CUIVRE ELECTROLYTIQUE. Ce métal, très coûteux, a été choisi en raison de son excellente conductibilité et de sa bonne tenue à la corrosion.

On utilise, en général, des feuilles de 35 microns d'épaisseur. Quelquefois, les feuilles ont une épaisseur de 70 microns, mais leur emploi est réservé aux circuits dont les liaisons doivent avoir une résistance particulièrement faible.

La qualité du cuivre est très importante. L'état de surface doit être parfait. Les rayures profondes risqueraient en effet de provoquer des coupures ou des points faibles dans les circuits.

Une surface rosée, lisse, sans ondulation ni rayures est un signe de bonne qualité.

II - FABRICATION DES PLAQUES D'ISOLANT CUIVREE

Pour réaliser une plaque d'isolant cuivré, on dispose les uns sur les autres, les éléments suivants :

- **UNE FEUILLE DE CUIVRE ELECTROLYTIQUE** dont un des côtés est enduit d'une colle spéciale. Ce côté est tourné vers le haut.

- **PLUSIEURS FEUILLES DE PAPIER IMPREGNE DE RESINE.** Le nombre de feuilles dépend de l'épaisseur de l'isolant que l'on désire obtenir. En général, cette épaisseur est de 1,5 mm.

Ces feuilles ont été trempées dans un bain de résine, essorées entre deux rouleaux, puis chauffées à 150⁰ C environ pour amorcer la polymérisation.

- **UNE TOLE DE SEPARATION EN ACIER INOXYDABLE** dont les faces ont été soigneusement polies.

On peut recommencer un nouvel empilage (cuivre - feuilles imprégnées de résine - tôle acier) et ainsi de suite.

La figure 1 montre la disposition des différentes feuilles pour la réalisation de deux plaques d'isolant cuivré.

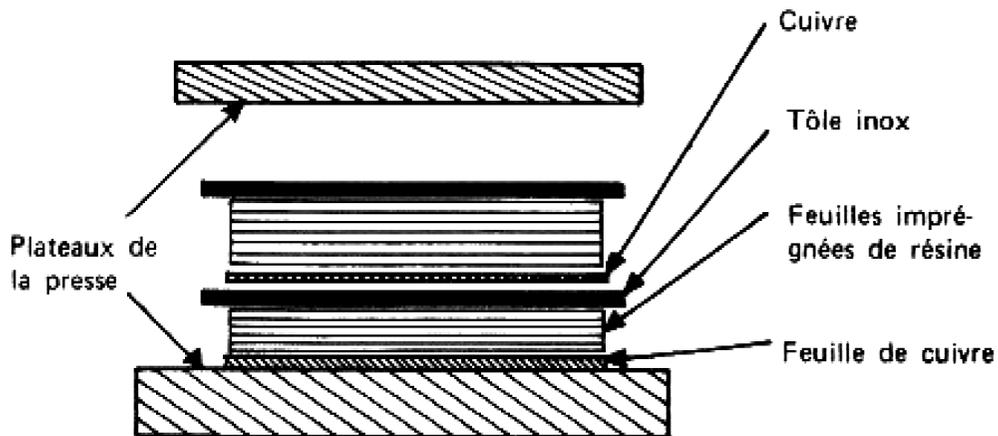


Figure 1

Les éléments ainsi préparés sont placés entre les plateaux d'une presse et soumis à une pression de 60 à 100 Kg/cm², puis chauffés pour terminer la polymérisation.

Nous obtenons ainsi plusieurs plaques d'isolant cuivré séparées par les tôles en acier inoxydable.

Ce procédé est valable pour la fabrication des stratifiés cuivrés sur une seule face.

Pour obtenir des circuits DOUBLE FACE, c'est-à-dire des circuits cuivrés des deux côtés, on réaliserait l'empilage suivant :

- une feuille de cuivre,
- plusieurs feuilles imprégnées de résine,

- une feuille de cuivre,
- une tôle d'acier inoxydable.

III - ETABLISSEMENT DU DESSIN D'UN CIRCUIT IMPRIME

Nous sommes maintenant en possession d'une plaque d'isolant cuivré, et nous voulons réaliser le véritable circuit imprimé, à l'aide du schéma théorique de l'ensemble électronique.

En premier lieu, il convient de déterminer les dimensions de la plaquette, si celles-ci ne sont pas imposées.

Pour cela, il faut effectuer un tracé primitif sur une feuille de papier. Les éléments du circuit seront dessinés en vraie grandeur.

Lorsque ce tracé est terminé, on prend le plus petit rectangle dans lequel on peut inscrire le dessin du circuit.

Ce premier dessin n'est qu'une ébauche du tracé véritable utilisé pour la réalisation du circuit imprimé.

III - 1 - REGLES D'EXECUTION DU TRACE

Nous ne pouvons donner ici que des indications, car la réalisation du dessin dépend surtout des habitudes de l'opérateur. Il existe néanmoins certaines règles qu'il est bon de respecter.

A) UTILISATION DE LA GRILLE INTERNATIONALE

La grille internationale est constituée par un quadrillage dont les lignes sont espacées par 1/10 de pouce (2,54 mm).

Les lignes paires sont en traits forts et les lignes impaires en traits plus fins.

Dans la mesure du possible, on s'efforce de faire coïncider les trous, qui serviront aux connexions, avec les intersections des lignes paires de la grille.

Les intersections des lignes impaires (traits fins) seront utilisées pour des cas exceptionnels.

Autrement dit, nous considérons que la grille est formée de traits épais espacés de 5,08 mm et de traits fins situés à mi-distance des traits précédents (figure 2).

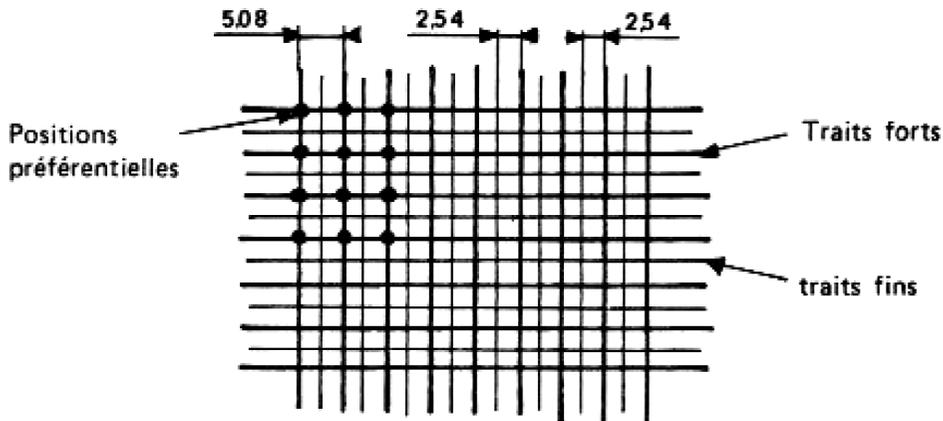


Figure 2

Pour la réalisation de circuit par l'amateur, on peut se servir d'un papier quadrillé normal (espace entre deux lignes = 5 mm).

La différence de 0,08 mm par maille, n'est pas sensible si l'on utilise des petites pièces.

Pour les réalisations industrielles, l'emploi de la grille est pratiquement indispensable.

En effet, les machines à poinçonner, percent tous les trous d'un seul coup, à condition que ces trous se trouvent aux sommets de la GRILLE INTERNATIONALE.

Enfin, les pièces détachées spéciales pour circuits imprimés ont leur broches de raccordement disposées suivant ce quadrillage.

B) EXECUTION DU DESSIN

Le dessin du circuit est tracé, soit sur un papier calque que l'on place sur la grille internationale, soit sur un papier normal sur lequel figure le quadrillage (ce quadrillage peut être exécuté au crayon et en traits légers).

IL EST CONSEILLE D'UTILISER DEUX COULEURS POUR LE TRACE.

On prend par exemple, la couleur noire pour représenter les bandes de cuivre, et la couleur rouge pour les éléments du circuit.

Ainsi, tout ce qui est noir représente le "côté cuivré" et tout ce qui est rouge le "côté éléments".

ON PEUT DONC CROISER, SANS INCONVENIENT, UN TRACE NOIR ET UN TRACE ROUGE.

Il faut cependant tenir compte de la largeur des rubans de cuivre.

Entre deux points de raccordement A et B (figure 3), espacés de 15,2 mm (6 mailles de grille internationale), on ne peut faire passer que quatre rubans de 1,5 mm. Chaque bande est alors séparée de la suivante par 1 mm d'isolant.

Cette distance de 1 mm entre bande de cuivre est une cote minimum. On considère qu'elle correspond à un isolement de 100 Volts.

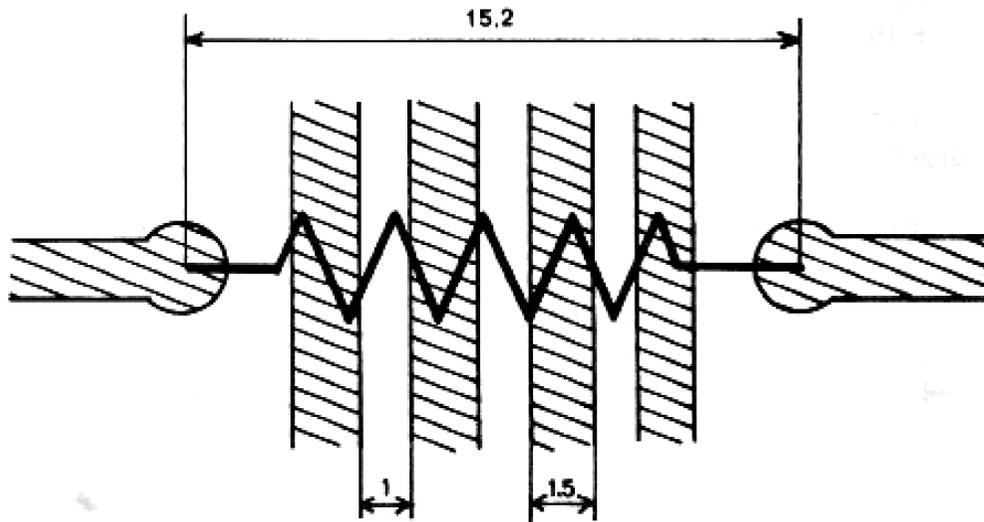


Figure 3

LES ELEMENTS (RESISTANCES, CONDENSATEURS, DIODES) DOIVENT TOUJOURS ETRE PLACES PARALLELEMENT A UN BORD DU CIRCUIT.

Cette disposition conduit à des circuits imprimés beaucoup plus clairs où les éléments sont disposés horizontalement ou verticalement.

La distance entre les éléments dépend bien entendu de leurs dimensions.

On peut, pour éviter de placer les éléments trop près les uns des autres, placer les éléments sur le papier et en dessiner la silhouette. Dans certains cas, il est impossible de relier deux connexions par une bande de cuivre. On utilise alors un pontet en fil de cuivre placé du côté des éléments. Cette solution permet parfois de simplifier un circuit, mais en règle générale, on évite ce genre d'opération.

Nous allons maintenant procéder à l'établissement du dessin d'un circuit imprimé.

CIRCUITS ELECTRONIQUES 4

11

Le schéma théorique du circuit que nous vous proposons de réaliser est donné figure 4. Il s'agit d'un générateur de signaux carrés.

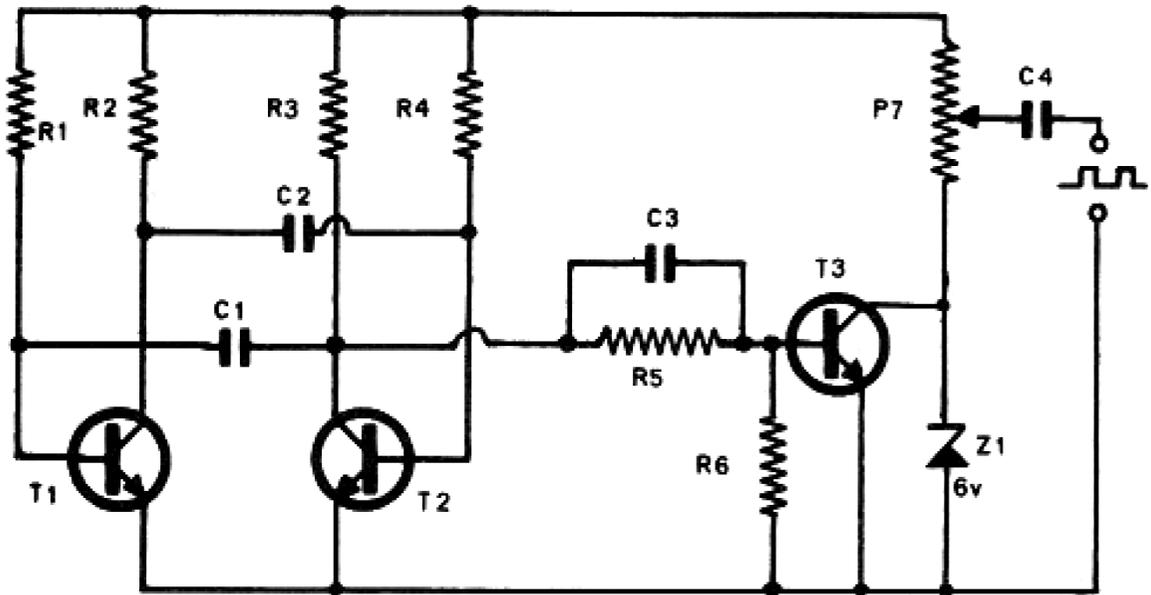


Figure 4

Les transistors T1 et T2 constituent un multivibrateur astable. Le signal rectangulaire est amplifié par le transistor T3 puis écrêté à 6 volts par la diode zener.

Les résistances utilisées sont toutes du même type (résistances agglomérées 1/2 watt et leurs connexions seront séparées par 3 mailles de la grille internationale (15,24 mm).

Les connexions des condensateurs C1, C2 et C4 seront séparées par 6 mailles (30,5 mm).

Les connexions de la diode zener et du condensateur C3 seront également distantes de 15,24 mm.

La solution la plus simple, consiste à suivre le schéma théorique du circuit. Nous obtenons ainsi un schéma de circuit imprimé, dans lequel, les éléments ont la même disposition que sur le schéma théorique.

La figure 5 montre le type de circuit imprimé obtenu. Sur ce schéma les éléments sont dessinés en traits pointillés.

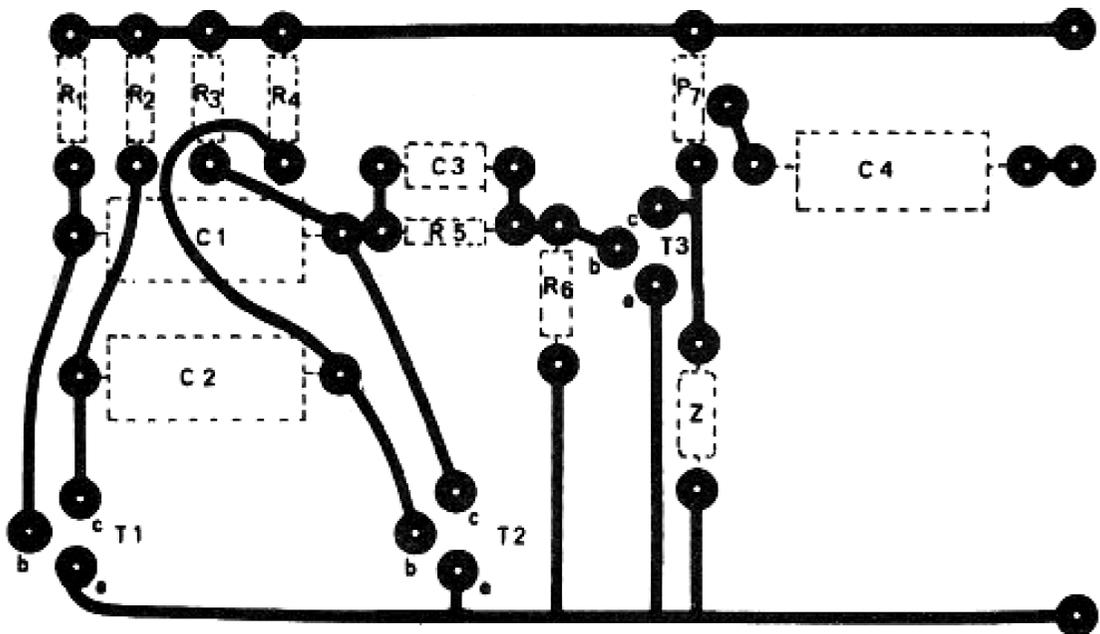


Figure 5

Nous pouvons améliorer la disposition du circuit en inversant les positions des résistances R3 et R4 et en mettant le groupe R5 - C3 et le condensateur C4 en position verticale. Ces modifications nous conduisent au schéma de la figure 6.

Nous terminerons l'étude de ce circuit en exécutant un troisième dessin, où les bandes de cuivre seront tracées en vraie grandeur.

Nous chercherons également, sans changer la disposition générale et en respectant la grille internationale, à **RESSERER** au maximum tous les éléments.

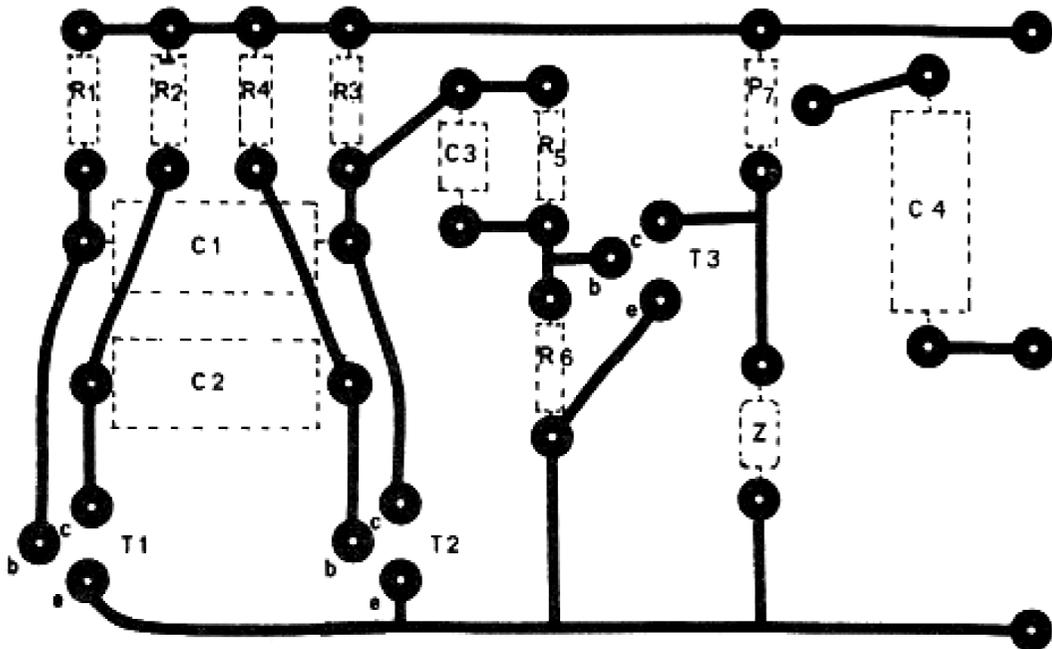


Figure 6

Cette opération est assez délicate. En effet, il faut tenir compte de plusieurs facteurs importants tels que :

- la largeur des bandes de cuivre,
- l'accessibilité des soudures,
- l'isolement entre les éléments et les bandes de cuivre,
- la dissipation thermique de certains éléments.

Le schéma définitif du circuit imprimé est donné figure 7. Cette solution est évidemment plus satisfaisante que celle obtenue aux figures 5 et 6.

Pour réaliser le dessin de ce circuit nous avons utilisé la méthode des deux couleurs (en fait, sur votre cours, le circuit apparaît en traits pleins et les éléments en traits pointillés).

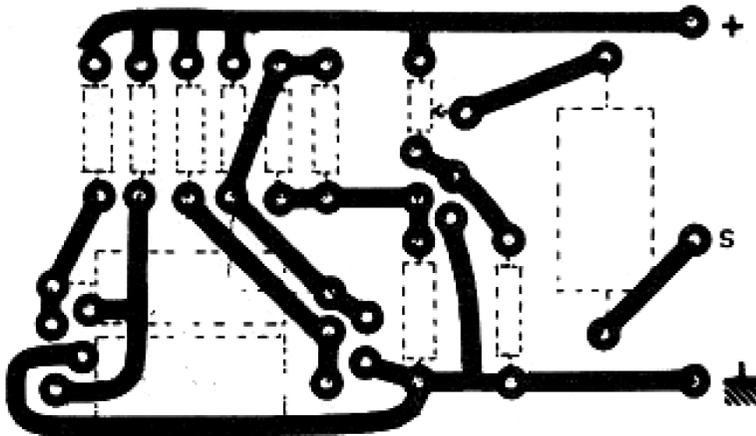


Figure 7

Une autre méthode, consiste à utiliser deux feuilles de papier calque. Les éléments figurent sur la feuille inférieure.

L'emplacement des éléments étant visible par transparence, on peut tracer les liaisons du circuit imprimé sur la feuille supérieure.

Très souvent, l'amateur réalise des circuits imprimés, exécutés suivant le principe du **CABLAGE ANGLAIS**. Ce type de circuit est en quelque sorte l'inverse des circuits habituels. Dans le câblage imprimé normal, on réalise les connexions par des rubans de cuivre qui n'occupent qu'une faible surface de la plaque de stratifié, le reste a été éliminé par le procédé de gravure.

Dans le câblage dit "**ANGLAIS**", au contraire on pratique de minces séparations entre des zones cuivrées importantes.

La figure 8 montre un exemple de circuit imprimé réalisé suivant les critères du câblage anglais.

Ce type de circuit est très souvent utilisé par les amateurs.

En effet, il est très facile de réaliser les séparations entre les plages cuivrées, sans avoir recours à un procédé chimique. Il suffit pour cela d'enlever le cuivre à l'aide d'une petite fraise montée sur une perceuse.

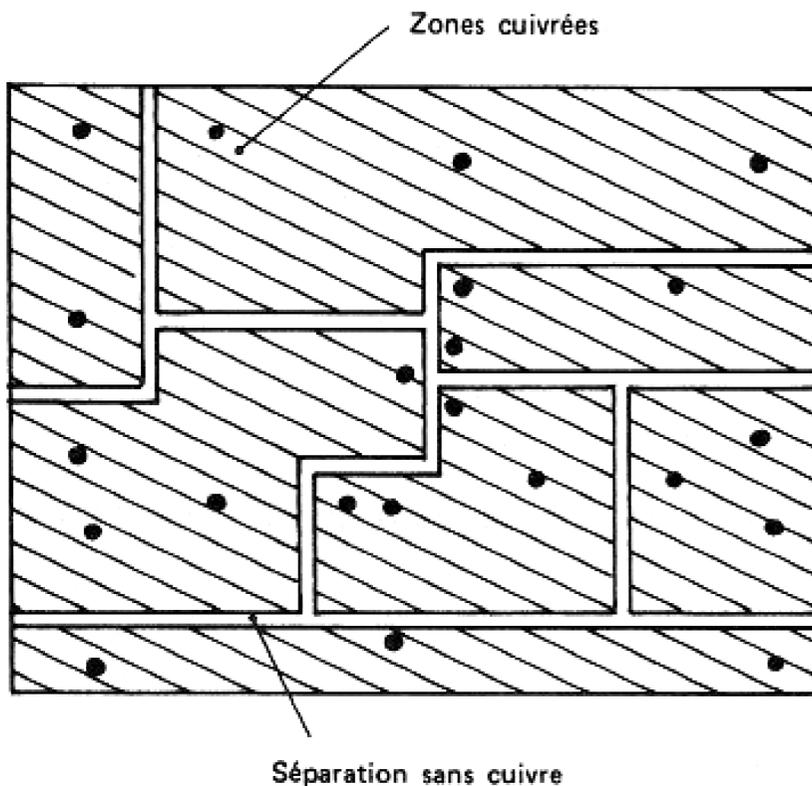


Figure 8

IV - REALISATION DU CIRCUIT IMPRIME

Il existe plusieurs procédés pour réaliser les circuits imprimés, mais tous sont basés sur le même principe.

Les endroits où le cuivre doit rester sont recouverts par un revêtement protecteur. On procède alors à une attaque chimique qui enlève le cuivre non protégé.

C'est en fait la nature du revêtement protecteur qui va déterminer le choix du procédé de gravure.

Quel que soit le procédé envisagé, il faut tout d'abord préparer la plaque, de façon à enlever les particules oxydées ou grasses qui peuvent altérer la surface cuivrée.

Le côté cuivré est lavé à l'eau puis éventuellement à l'alcool ou au trichlorethylène pour enlever les dépôts de graisse. Ensuite, le cuivre est décapé à l'aide d'une toile abrasive très fine, ou avec de la poudre de pierre ponce déposée sur un chiffon humide.

Ce décapage doit être poursuivi jusqu'à ce que la surface cuivrée prenne une teinte rose uniforme.

Cette opération terminée, on rince la plaque avec de l'eau et on laisse sécher.

Nous disposons maintenant d'une plaque de stratifié cuivré et d'un dessin de circuit imprimé. Nous voulons reproduire ce dessin sur la face cuivrée de la plaque.

Plusieurs procédés peuvent être employés.

1er PROCÉDE : DESSIN DIRECT SUR LE CUIVRE

La meilleure solution est l'emploi du papier carbone.

Ce papier est placé sur la face cuivrée (côté carbone en contact avec le cuivre). On place ensuite le dessin du circuit sur la feuille de papier carbone. Le tout est maintenu en place par des morceaux de ruban adhésif.

A l'aide d'un stylo à bille, on repasse sur le dessin du circuit imprimé en marquant les contours des bandes de cuivre et les trous de connexions.

On peut alors enlever le dessin et le papier carbone. Le tracé est parfaitement visible en traits noirs.

C'est à ce moment qu'il faut pointer les trous.

ATTENTION : cette opération est délicate, car le stratifié s'écaille très facilement. Il est recommandé d'utiliser le pinceau avec douceur.

Le tracé au carbone va servir de guide pour le dépôt du revêtement protecteur.

Les produits les plus couramment employés sont : la peinture, le vernis, le bitume de Judée dilué dans du toluène, et l'encre servant à corriger les plaques offset.

La peinture et le vernis, du fait de leur viscosité, ne peuvent être appliqués qu'à l'aide d'un petit pinceau.

Les encres diluées dans du toluène ou de l'alcool sont plus faciles à utiliser dans les plumes à dessin (à palette ou à tubes) ou dans les tire-lignes.

Il existe également dans le commerce des stylos spéciaux pour circuit imprimé. Ceux-ci permettent de déposer sur le cuivre, une encre spéciale qui ne sera pas détruite au cours de l'érosion chimique.

On trouve également dans le commerce, des bandes et des pastilles adhésives qui permettent de réaliser directement le dessin du circuit imprimé sur la face cuivrée.

Il faut que le collage soit parfait si l'on veut que le bain d'attaque ne puisse absolument pas se glisser entre les pièces collées et le cuivre.

Les procédés que nous venons d'exposer sont surtout employés par les amateurs, ou pour la fabrication de circuits imprimés en très petites séries.

Voyons maintenant les procédés utilisés dans l'industrie.

2ème PROCEDE : LA PHOTOGRAVURE DIRECTE

Cette technique possède l'énorme avantage de la REPRODUCTIBILITE. En effet, on peut fabriquer un nombre illimité de circuits à partir de la même épreuve photographique. Quel que soit le procédé de photo-gravure utilisé, il est toujours nécessaire de réaliser un NEGATIF du dessin d'avant projet exécuté sur papier blanc ou sur papier calque.

Le terme NEGATIF n'a pas tout à fait le sens que lui prêtent les photographes.

Il s'agit ici d'une FEUILLE TRANSPARENTE où le dessin des bandes de cuivre apparaît en zones opaques.

Dans certains cas, suivant les produits employés, ce sont les parties où le cuivre doit être enlevé qui sont opaques.

Le négatif peut être réalisé, soit avec une feuille transparente sur laquelle on colle des bandes adhésives représentant le circuit, soit en réalisant un film photographique.

Dans le second cas, il suffit de photographier le dessin d'avant projet et de réaliser un film positif ou négatif suivant le cas.

Ce procédé est très employé, car il permet d'utiliser des dessins d'avant projet plus grands que le circuit à réaliser.

La réduction sur le film permet d'obtenir des traits d'une finesse et d'une précision incomparable.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur la façon de traiter les NEGATIFS. Il s'agit de méthodes photographiques très diverses qui n'ont rien à voir avec l'électronique.

Nous considérons donc que nous sommes en possession du NEGATIF représentant le circuit imprimé et nous voulons provoquer la formation sur le cuivre d'un revêtement protecteur sur tous les endroits où le cuivre doit subsister.

La photogravure directe consiste à enduire la face cuivrée d'un VERNIS SENSIBLE A LA LUMIERE.

Le NEGATIF est placé sur le cuivre sensibilisé et le tout est exposé à la lumière.

On fait ensuite agir un solvant qui dissout les zones de vernis non exposées à la lumière. Les zones impressionnées par la lumière deviennent insolubles et protègent le cuivre.

Quand on soumettra la plaque de stratifié à l'effet d'un bain attaquant, le cuivre sera supprimé dans les zones à nu et il restera où le vernis protecteur recouvre toujours le cuivre

La figure 9 montre les différentes opérations du traitement de la plaque de stratifié.

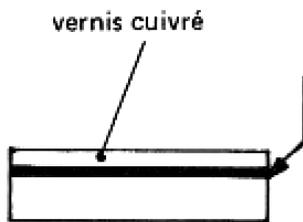
Un dernier lavage dans un solvant permet d'enlever le vernis sensibilisé restant sur les bandes de cuivre.

3ème PROCEDE : PHOTOGRAVURE INDIRECTE OU SERIGRAPHIE.

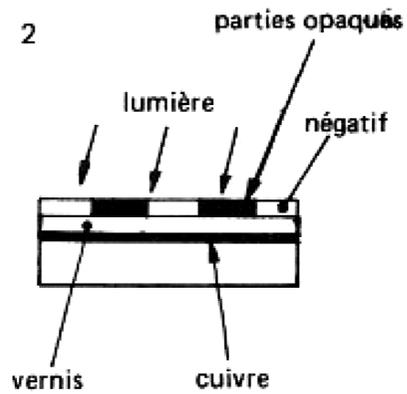
On utilise une fine toile de soie tendue sur un cadre. Cette toile est imprégnée d'un produit photosensible qui durcit à la lumière. La soie est exposée à la lumière, à travers un NEGATIF de même nature que celui utilisé pour la photogravure directe. Ici les parties représentant les bandes de cuivre sont noires et celles représentant le cuivre à enlever sont transparentes.

CIRCUITS ELECTRONIQUES 4

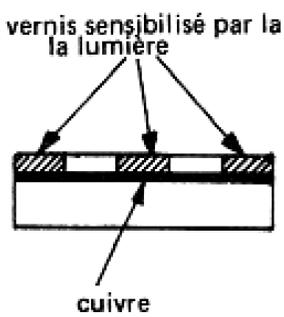
1



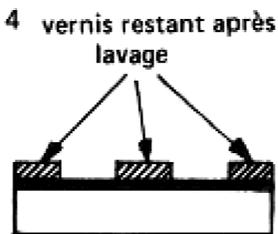
2



3



4



5



6

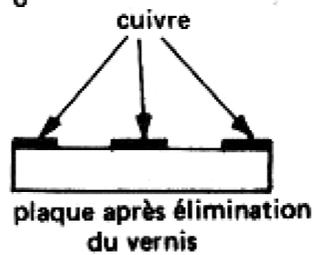


Figure 9

Le produit sensible devient insoluble dans les endroits exposés à la lumière. Les autres zones sont dissoutes au cours d'un lavage à l'eau chaude.

La toile ainsi préparée est placée sur la face cuivrée du stratifié. On étale alors de l'encre sur la soie. L'encre ne se dépose sur le cuivre qu'aux endroits où la soie est perméable.

Au cours de l'attaque chimique, l'encre protégera le cuivre aux endroits qu'elle recouvre.

La figure 10 montre le détail des opérations de ce procédé de fabrication des circuits imprimés.

La protection du cuivre étant réalisée, il nous reste à effectuer l'attaque du cuivre.

V - L'ATTAQUE DU CUIVRE

Le produit le plus largement employé est le PERCHLORURE DE FER en solution dans l'eau. La réduction du cuivre s'effectue par oxydation et nous obtenons du chlorure de fer et du chlorure de cuivre.

La plus grande vitesse d'attaque est obtenue pour une solution de perchlorure de fer à 33⁰ Beaumé (densité 1,29).

Les plaques de stratifiés, traitées par une des méthodes que nous venons de décrire, sont plongées dans un bain de perchlorure de fer. Le mélange de chlorure cuivrique et de chlorure ferreux qui se forme pendant l'attaque est légèrement huileux et il reste en contact avec le cuivre. Cette couche protectrice empêche l'action du perchlorure frais. Il faut donc AGITER la plaque, de façon à faire tomber le mélange dans le bain.

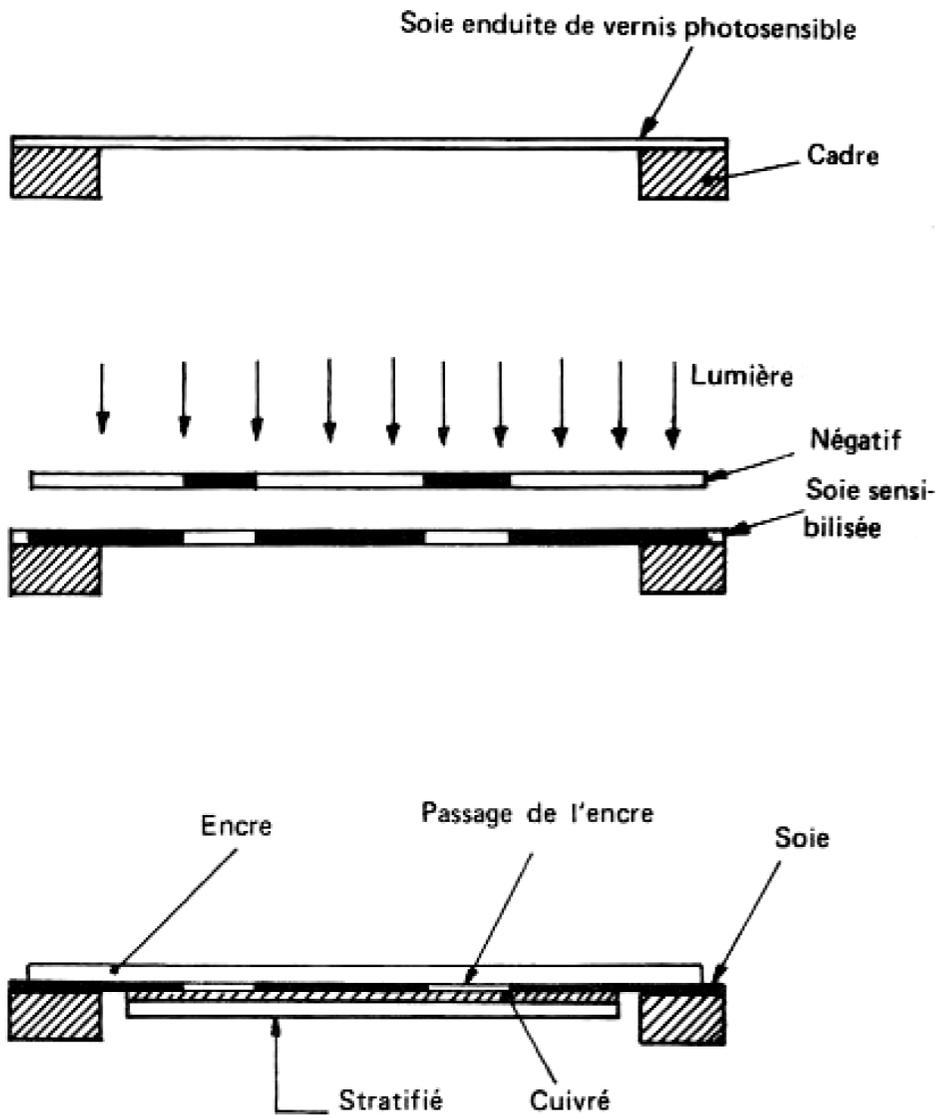


Figure 10

Certaines machines procèdent par aspersion et même par pulvérisation. De cette façon le perchlore s'écoule sur la plaque et entraîne les résidus de la réaction ohmique.

Bien entendu, le bain de perchlore s'épuise au fur et à mesure que l'on traite les plaques.

On considère généralement, que le bain doit être remplacé quand la durée d'attaque est le double de celle obtenue avec un bain neuf.

On commence à utiliser d'autres produits pour l'attaque des circuits.

Le PERSULFATE D'AMMONIUM est un oxydant très puissant qui donne une attaque rapide du cuivre, mais malheureusement, les vitesses d'attaque sont très variables d'une fois à l'autre.

Un autre produit, parfois employé, est L'ACIDE NITRIQUE. Son attaque est également très rapide.

Un inconvénient majeur est la formation de vapeurs nocives et corrosives qui doivent être évacuées.

Après l'opération d'attaque du cuivre, les plaques gravées sont lavées avec un diluant pour enlever la couche de revêtement protecteur restant sur les bandes de cuivre.

Les plaques sont ensuite percées. L'artisan travaille avec une perceuse montée sur un support. Le diamètre des trous est évidemment déterminé par la grosseur des fils de connexions des éléments montés sur le circuit.

Dans l'industrie, il existe des machines à poinçonner perceant tous les trous d'une seule fois ou à une cadence très rapide.

VI - CABLAGE DES ELEMENTS SUR LE CIRCUIT

Les éléments du câblage du type résistance, condensateur, diode ou transistor sont les mêmes que ceux utilisés en câblage conventionnel.

a) CABLAGE DES RESISTANCES

Dans les circuits imprimés, on se limite à des résistances à faible dissipation thermique. En général, on ne dépasse pas 2 Watts. Les résistances sont câblées à plat, comme le montre la figure 11. Le corps est plaqué contre le stratifié et les fils de connexions sont coudés à angle droit et doivent coïncider exactement avec les trous du circuit imprimé.

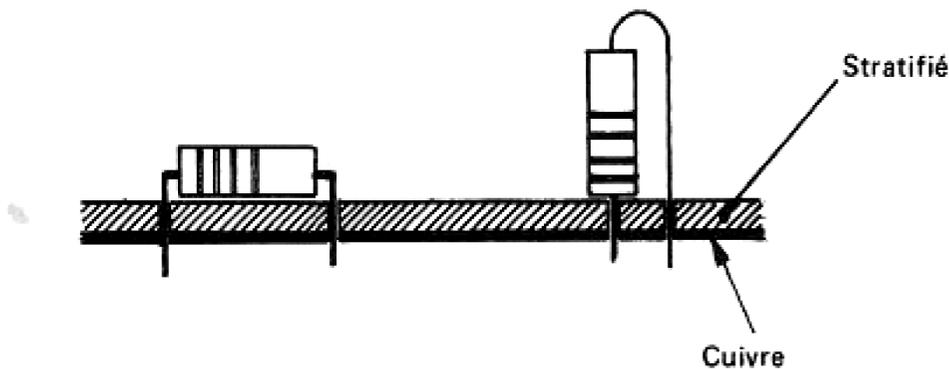


Figure 11

La figure 12 montre ce qu'il ne faut pas faire.

Dans certains cas, les résistances sont câblées debout (figure 11). Cette disposition permet de réduire les dimensions du circuit.

Les résistances à forte dissipation thermique (supérieure à 2 Watts) doivent être écartées du circuit de 2 à 3 mm de façon à favoriser le refroidissement et éviter de brûler le stratifié. Cette solution n'est envisagée que lorsque la résistance ne peut être montée que sur le circuit imprimé.

LE MARQUAGE DES RESISTANCES DOIT TOUJOURS ETRE DISPOSE DANS LE MEME SENS.

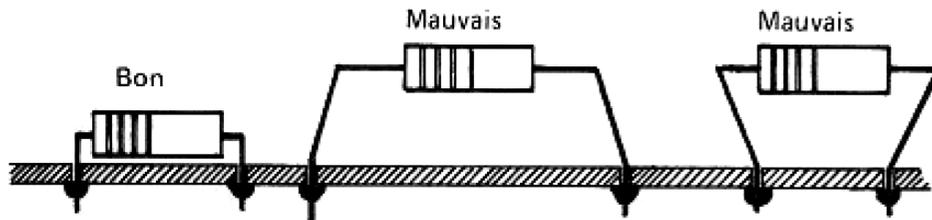


Figure 12

Par exemple de gauche à droite pour les résistances câblées horizontalement et du haut vers le bas pour les résistances câblées verticalement.

Cette disposition permet de lire les cercles de couleurs des résistances sans avoir à tourner le circuit dans tous les sens.

b) CABLAGE DES CONDENSATEURS.

Les modèles courants de petits condensateurs peuvent être utilisés sans difficulté pour les circuits imprimés.

Les fils de connexions doivent, comme pour les résistances, être pliés à angle droit et coïncider avec les trous du circuit.

LE MARQUAGE DES CONDENSATEUR DOIT ETRE APPARENT.

Les condensateurs de forte valeur, trop lourds pour être maintenus par leurs fils de connexions, sont tenus par un clip serrant le corps du condensateur. La figure 13 montre les différents types de condensateurs câblés sur un circuit.

c) CABLAGE DES AUTRES ELEMENTS

Dans tous ces éléments nous incluons, les diodes, les transistors, les tubes, les petits transformateurs, les potentiomètres, etc...

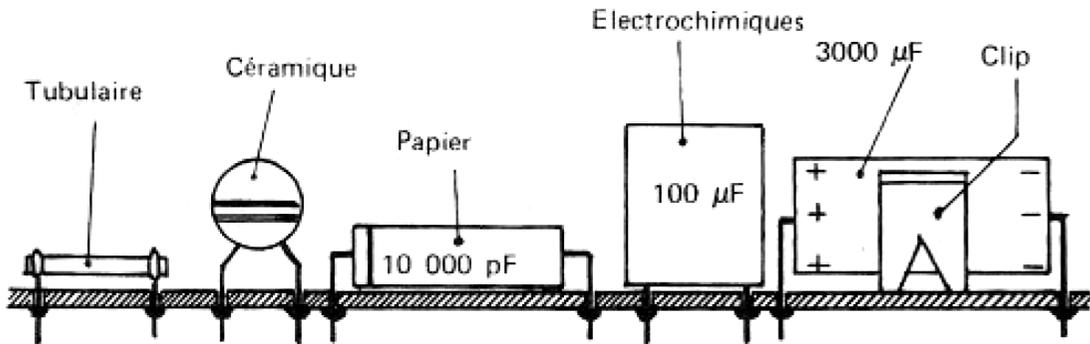


Figure 13

Les petites diodes à pointe ou à jonction sont considérées comme des résistances et leur montage est identique.

Certains préfèrent effectuer deux petites boucles sur les fils de connexions. Cette précaution permet de moins chauffer le corps de la diode au cours du soudage.

Les diodes à jonction plus importante, comportant une vis, doivent être placées perpendiculairement au circuit (figure 14).

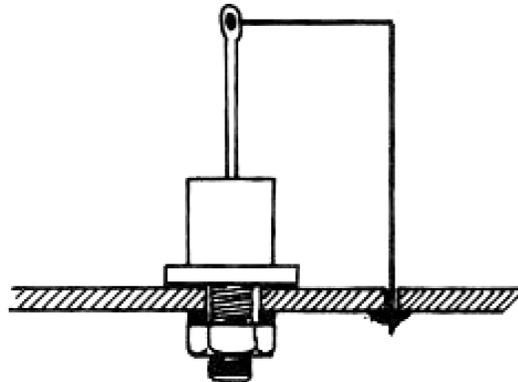


Figure 14

Pour le câblage des autres éléments, tels que les transistors, les circuits intégrés les potentiomètres ou les transformateurs, il n'y a pratiquement aucune règle à respecter. Leur forme et la disposition des picots dictent la façon de les câbler.

VII - SOUDAGE DES ELEMENTS

Le soudage permet d'assurer une continuité électrique entre les différents éléments du circuit.

VII - 1 - SOUDAGE PAR POINTS

Cette technique est la seule utilisable pour les amateurs et artisans. Les résultats sont excellents et les opérations relativement rapides. Il faut avant tout, **UN FER A SOUDER PARFAITEMENT ADAPTE AU TRAVAIL.**

LA PUISSANCE DE CE FER A SOUDER NE DOIT JAMAIS DEPASSER 60 WATTS.

LA PANNE DU FER DOIT ETRE PARFAITEMENT PROPRE ET ETAMEE.

Les soudures sont très faciles à exécuter. On place la panne du fer en contact avec le fil de connexion, à une distance d'environ 2 mm du cuivre, en appuyant la soudure de l'autre côté du fil de connexion. (figure 15). On attend alors que la soudure fonde au contact du fil et on descend progressivement la panne du fer et la soudure au contact du cuivre. A l'instant précis où la soudure s'étale sur le cuivre, on retire le fer à souder et la soudure.

Cette méthode permet de faire adhérer la soudure sur le fil de connexion et sur le cuivre (très souvent la soudure ne colle pas au fil de connexion car la panne du fer a été appliquée directement sur la bande de cuivre).

VII - 2 - SOUDAGE AU TREMPE

Le principe en est très simple.

La plaque portant tous les éléments dont les pattes de connexions ont été coupées à la longueur voulue, vient effleurer un bain d'étain liquide pendant 2 ou 3 secondes.

L'étain s'accroche sur toutes les parties métalliques et effectue les soudures.

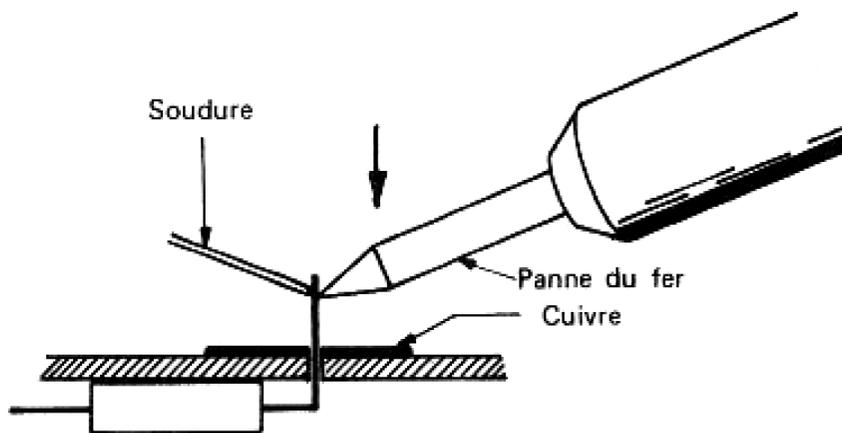


Figure 15

Bien que très séduisante du fait de sa rapidité, cette technique de soudage présente bien des inconvénients.

En effet, sous l'effet de la chaleur, la plaque du circuit imprimé se cintre vers le bas. La soudure peut alors passer du côté des éléments et provoquer des court-circuits.

D'autre part, le temps d'immersion doit être rigoureusement déterminé. S'il est trop court, la soudure prend mal, s'il est trop long, le circuit se déforme et les constituants peuvent être détériorés par la chaleur.

VII - 3 - SOUDURE A LA VAGUE

Ce procédé est identique au précédent, mais la plaque n'est plus immergée dans le bain.

La figure 16 montre le principe de la soudure à la vague.

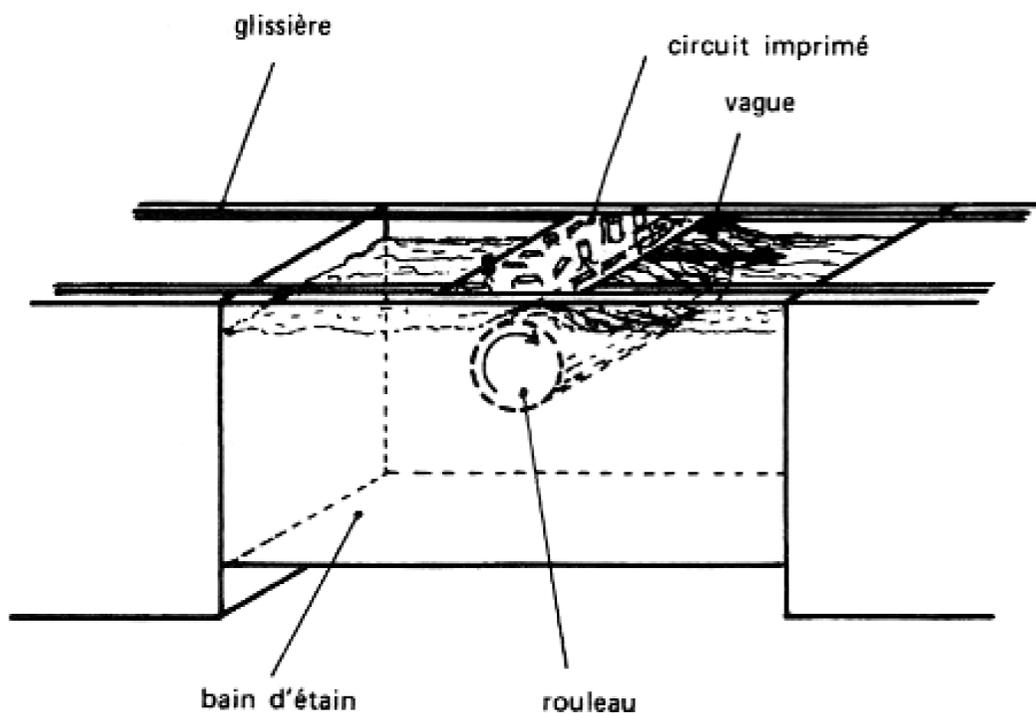


Figure 16

Dans le bac contenant de l'étain fondu, un rouleau tourne à vitesse constante et entraîne la soudure de façon à fournir une ondulation à la surface du bain d'étain.

Le circuit imprimé est placé, côté cuivré en bas, sur un chariot se déplaçant horizontalement au-dessus du bain d'étain.

Le cuivre du circuit vient effleurer le haut de la vague d'étain. La vitesse d'avancement du chariot est soigneusement déterminée, et la soudure s'effectue tout au long de la ligne de contact entre la vague et la plaquette.

L'échauffement du circuit est ainsi bien moins important qu'avec la méthode de soudure au trempé.

Certains constructeurs, pour économiser de l'étain recouvrent les parties qui ne comportent pas de points de soudure, avec de la peinture ou du vernis spécial.

Cette peinture isolante est déposée par un procédé analogue à la SERIGRAPHIE.

De cette façon, la soudure fondue ne peut prendre que sur les zones non recouvertes de peinture.

VIII - EXEMPLE DE REALISATION PRATIQUE

D'UN CIRCUIT IMPRIME

Ce chapitre résume les opérations nécessaires à l'exécution d'un circuit imprimé simple. Nous utiliserons une méthode légèrement différente de celles déjà décrites dans cette leçon, mais très souvent demandée dans les épreuves pratiques des examens d'électroniciens.

Le schéma théorique du circuit est donné à la figure 17. Il s'agit d'un circuits de correction intégrateur et différentiateur.

Les résistances R1 et R2 ont leurs connexions séparées par 3 mailles de la grille internationale (15,24 mm).

Les connexions des condensateurs C1 et C2 sont séparées par 6 mailles (30,5 mm).

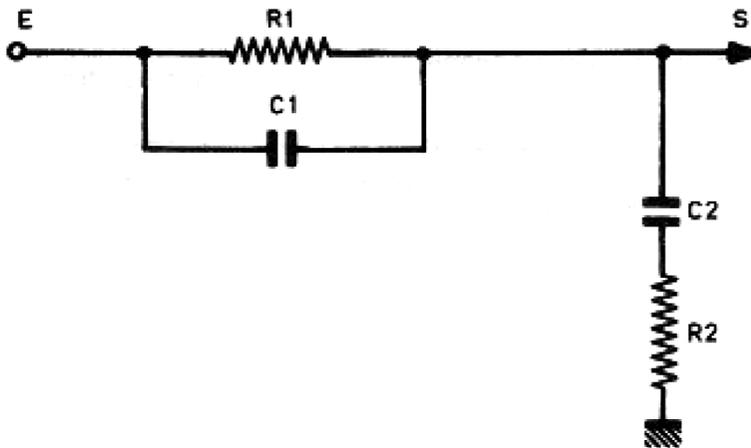


Figure 17

Les liaisons entre la plaquette imprimée et le circuit de l'appareil sont effectuées par trois fils de câblage (entrée, sortie et masse). Il faudra donc prévoir trois trous supplémentaires pour souder les fils de liaisons.

Pour exécuter le dessin du circuit, on utilise une feuille de papier calque transparent que l'on plie en son milieu comme l'indique la figure 18.

La feuille est ensuite dépliée et la silhouette des éléments est tracée, au crayon et en vraie grandeur, sur la moitié supérieure de la feuille transparente.

On adopte la disposition des éléments qui prend le moins de place. Lorsque les dimensions de la plaquette sont fixées à l'avance, il faut placer les éléments de façon à obtenir une répartition régulière sur toute la surface du circuit.

Dans ce cas, la densité d'implantation est moins bonne que celle obtenue lorsqu'on détermine soit même les dimensions des circuits (la densité d'un circuit est obtenue en faisant le rapport entre la surface occupée par les éléments et la surface totale de la plaquette).

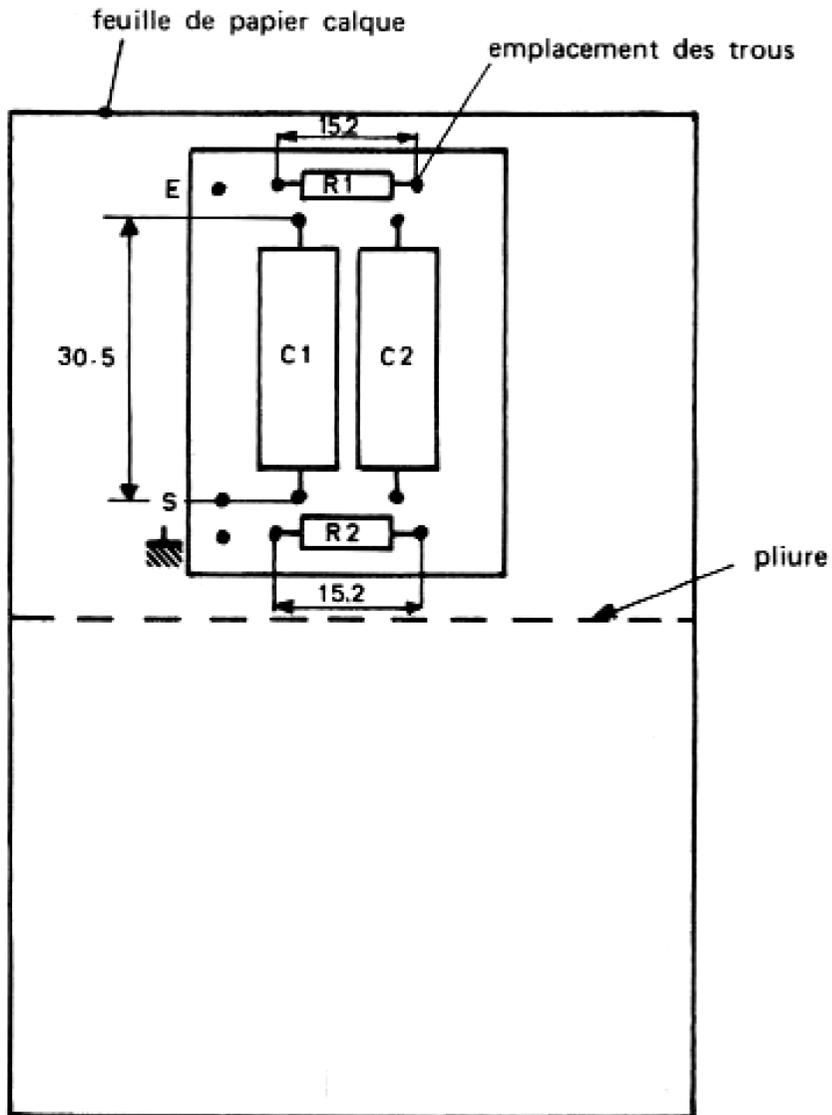


Figure 18

Pour les circuits imprimés courants, la densité est comprise entre 25 et 50 pour cent.

Pour notre exemple, nous avons placé, les deux condensateurs côte à côte dans le sens vertical. Les résistances R1 et R2 sont disposées horizontalement de part et d'autre des condensateurs (figure 18).

Lorsque la meilleure disposition est obtenue, on peut tracer le cadre définitif qui donne les dimensions de plaquette de circuit imprimé.

Ensuite il est possible de reproduire le dessin à l'encre de chine.

Les points de connexions des éléments où seront percés les trous du circuit, sont marqués par de petits points d'environ 1 mm de diamètre.

Le circuit imprimé doit comporter autant de trous qu'il existe de connexions.

EN AUCUN CAS, ON NE DOIT FAIRE PASSER DEUX OU PLUSIEURS FILS DE CONNEXIONS PAR LE MEME TROU.

Sur le circuit de notre exemple, nous devons rencontrer 11 trous (2 trous pour R1, 2 trous pour C1, 2 trous pour C2, 2 trous pour R2, 3 trous pour l'entrée, la sortie et la masse).

Lorsque le dessin d'implantation est réalisé, on plie la feuille comme l'indique la figure 19.

A travers la moitié de feuille qui est repliée sur le dessin d'implantation, on voit la disposition des éléments.

Il suffit maintenant de tracer le chemin des liaisons effectuées par les bandes de cuivre.

Cette opération est très rapide puisque l'on voit les éléments par transparence.

Ce dessin doit être exécuté au crayon. La figure 20 montre la disposition la plus simple des bandes de cuivre.

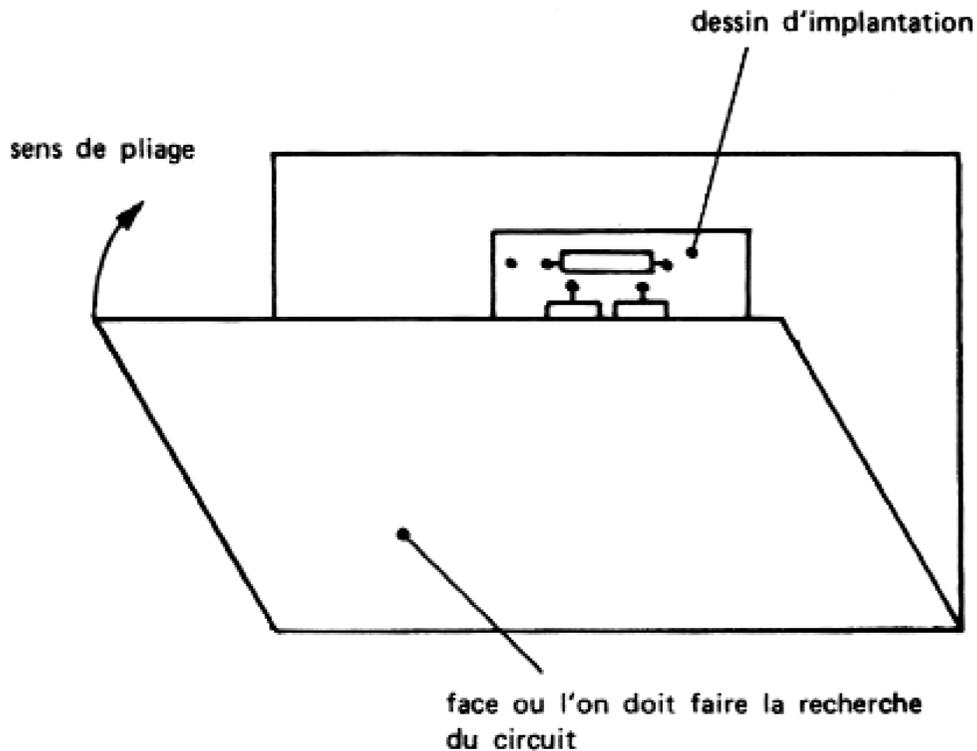


Figure 19

Sur ce tracé il faut également reporter le cadre du circuit.

Ce travail étant effectué, on déplie la feuille de papier et on recopie par transparence le dessin des liaisons sur la moitié inférieure de la feuille (figure 21).

Nous obtenons maintenant, sur la même feuille, le dessin des éléments vu du côté éléments et le dessin des bandes de cuivre, telles qu'on les voit lorsque l'on retourne le circuit imprimé.

Cette méthode, contrairement à la méthode des deux couleurs, permet d'obtenir un schéma du circuit imprimé, directement utilisable pour la réalisation du négatif.

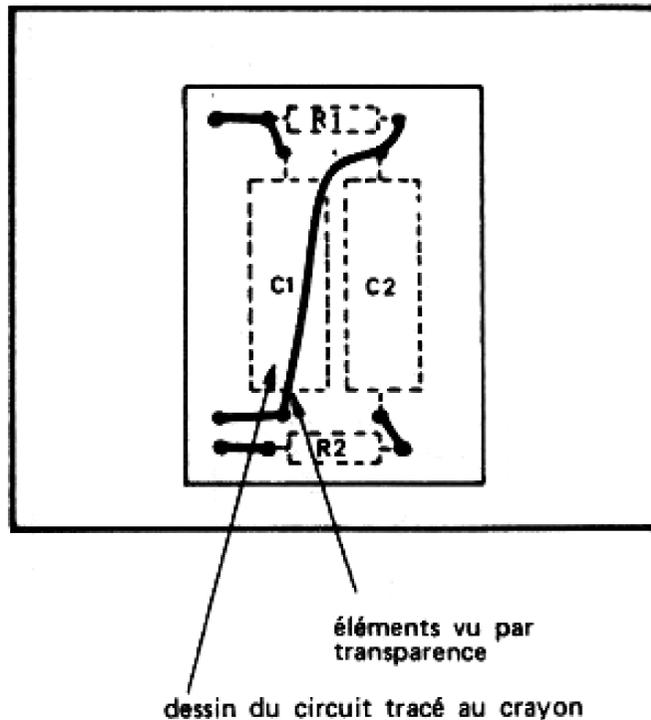


Figure 20

Le schéma d'implantation des éléments situé à la partie supérieure de la feuille est souvent utilisé pour pointer les trous avant le perçage. Il suffit de placer ce dessin sur la plaque de bakélite et de pointer directement à travers le papier.

Le travail de pointage, étant effectué, il suffit de percer les trous. Le diamètre des trous est choisi en fonction du diamètre des fils de connexions de chacun des éléments.

Par exemple, pour une résistance agglomérée de 1/2 watt, possédant des fils de connexions de 1 mm de diamètre, on percera des trous de 1,2 mm. Pour des condensateurs avec pattes de connexions de 1,5 mm, on percera des trous de 1,8 mm de diamètre.

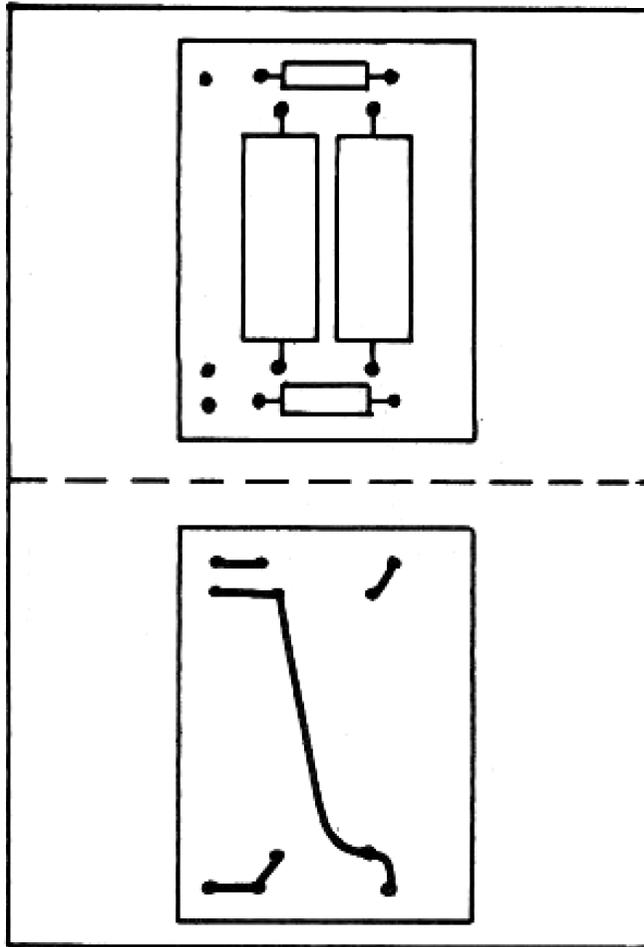


Figure 21

Le percage de la plaque terminé, vous procéderez à la gravure du cuivre, en utilisant un des procédés décrits dans les chapitres précédents.

L'étude du câblage sur circuit imprimé est ainsi terminée. Ce type de câblage est maintenant universellement employé et il ouvre de nouvelles perspectives, notamment dans le domaine des commutateurs, des bobinages plats et surtout des circuits intégrés.

