

Réalisation d'un pHmètre à affichage numérique

par Henri COTHENET,
Professeur au Lycée Carnot, Dijon.

Il y a quelques mois, nous avons construit un pHmètre à affichage numérique. Nous l'avons mis entre les mains des professeurs et des élèves des classes de Terminales C et D du lycée, durant le premier trimestre de l'année scolaire. A l'usage, les performances techniques de cet appareil se sont avérées excellentes notamment en ce qui concerne la fiabilité, la fidélité, la justesse ; la sensibilité peut atteindre 10^{-2} unités de pH. Le prix de revient des composants s'élève à environ 500 francs. La réalisation en est relativement facile, notre aide technique *chimiste*, M. GUÉNARD, en a réalisé 12 exemplaires, actuellement opérationnels, avec comme seules informations, celles que nous nous proposons de communiquer dans cet article.

PRINCIPE.

Le pHmètre comporte :

- 1° une pile à électrodes de verre-calomel de f.é.m. $e = f(\text{pH})$ (*),
- 2° un dispositif électronique à forte impédance d'entrée qui transforme la f.é.m. de la pile en une tension qui peut, par exemple, être de la forme $E_{(V)} = 10^{-2} \text{ pH}$,
- 3° un appareil de mesure : voltmètre à affichage numérique.

1. LE DISPOSITIF ELECTRONIQUE.

1.1. Examen du schéma (fig. 1).

Il montre que l'on utilise les deux amplificateurs opérationnels « bifet » contenus dans le boîtier d'un TL082. Le premier possède une contre-réaction ajustable grâce à R_{10} , tandis que le second dispose à l'entrée d'une tension auxiliaire ajustable grâce à R_9 . En intervenant successivement sur ces deux paramètres, il est alors possible d'obtenir en sortie une tension $E_{(V)} = 10^{-2} \text{ pH}$.

(*) Les mesures ont été effectuées avec une électrode double combinée verre-calomel, Type T B C 12/HS - Référence Prolabo 06745-003.

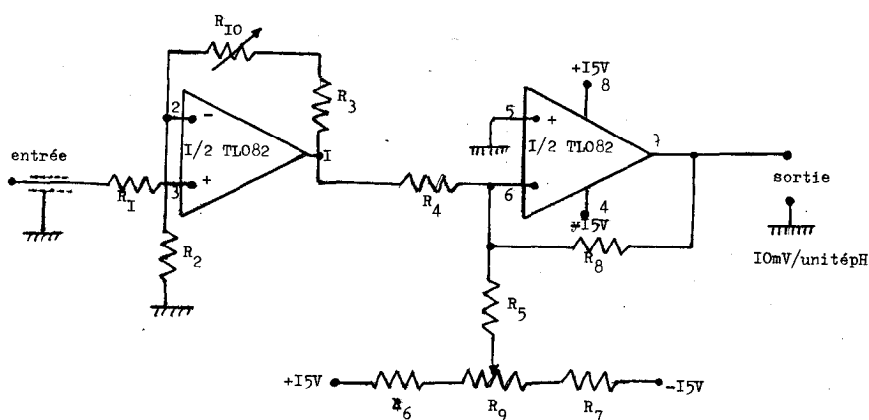


Fig. 1. — Schéma du pHmètre.

$R_1 = 10^6$ ohms $R_4 = 10^4$ ohms. $R_7 = 1,5 \cdot 10^3$ ohms.
 $R_2 = 2,2 \cdot 10^3$ ohms. $R_5 = 47 \cdot 10^3$ ohms. $R_8 = 10^3$ ohms.
 $R_3 = 10^3$ ohms. $R_6 = 1,5 \cdot 10^3$ ohms.

R_9 et R_{10} sont des résistances ajustables (multitours) de $5 \cdot 10^3$ ohms.

1.2. Circuit imprimé.

a) côté cuivre (fig. 2),

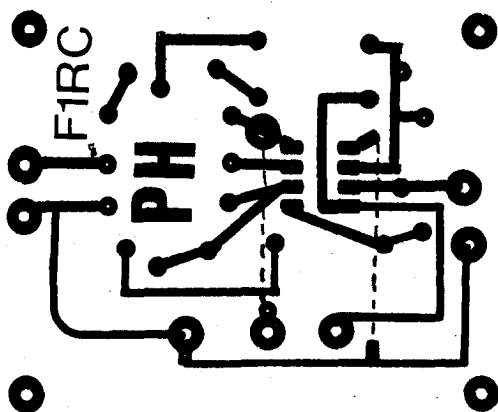


Fig. 2

b) côté composants avec leur implantation (fig. 3).

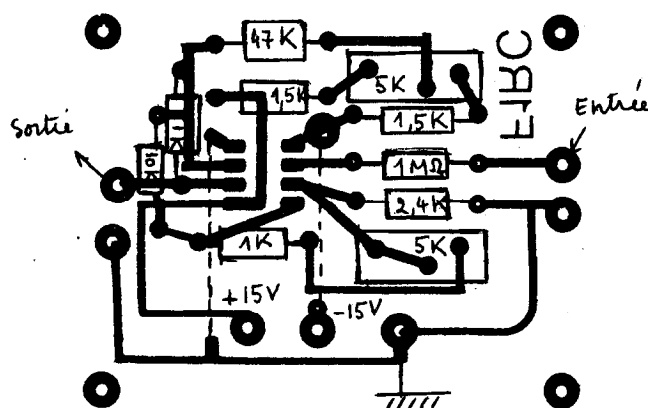


Fig. 3

I.3. Liste des composants.

Composants	Prix en francs	Fournisseurs
1 TL082	7,70	1
1 support circuit intégré 2×4	1,20	1
8 résistances $1/4$ W (0,20)	1,60	3
2 résistances ajustables 15 tours (11,50)	23,00	3

II. L'ALIMENTATION DU DISPOSITIF ELECTRONIQUE.

II.1. Examen du schéma (fig. 4).

Un transformateur d'une puissance de 5 W alimente, sous une tension de 15 V deux cellules de redressement et filtrage. On dispose alors des tensions de l'ordre de + 20 V et - 20 V ; elles sont ramenées et stabilisées à + 15 V et - 15 V à l'aide des régulateurs de tension intégrés 7815 et 7915.

II.2. Circuit imprimé.

a) côté cuivre (fig. 5),

b) côté composants avec leur implantation (fig. 6).

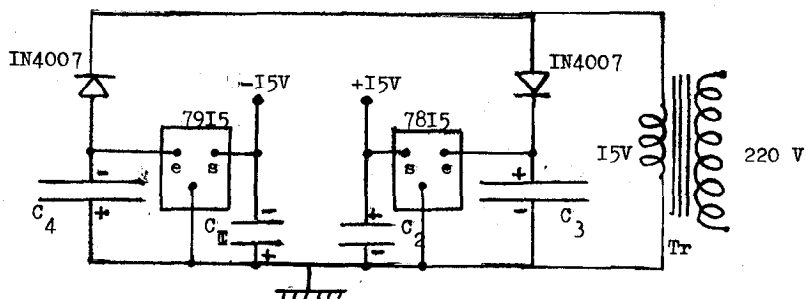


Fig. 4. — Schéma de l'alimentation.

$$C_1 = C_2 = 470 \cdot 10^{-6} \text{ F (25 V)},$$

$$C_3 = C_4 = 2\,200 \cdot 10^{-6} \text{ F (25 V)}.$$

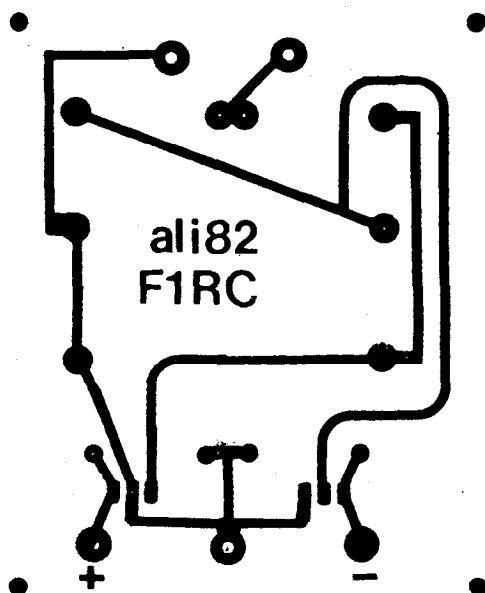


Fig. 5

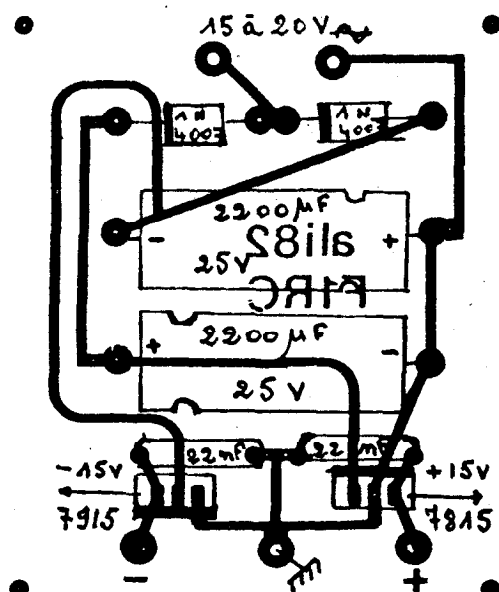


Fig. 6

II.3. Liste des composants.

Composants	Prix en francs	Fournisseurs
1 transformateur P. 220 V - S. 15 V - 5 W	35,00	3
2 diodes de redressement 1 N 4007 (0,60)	1,20	1
2 condensateurs électroch. 2200 µF 25 V (6,80)	13,60	3
2 condensateurs électroch. 470 µF 25 V (3,00)	6,00	3
1 régulateur de tension 7815, 1,5 A, T 0220 (fig. 12)	8,80	1
1 régulateur de tension 7915, 1,5 A, T 0220 (fig. 12)	9,90	1

III. LE VOLTMETRE A AFFICHAGE NUMERIQUE.

III.1. Schéma (fig. 7).

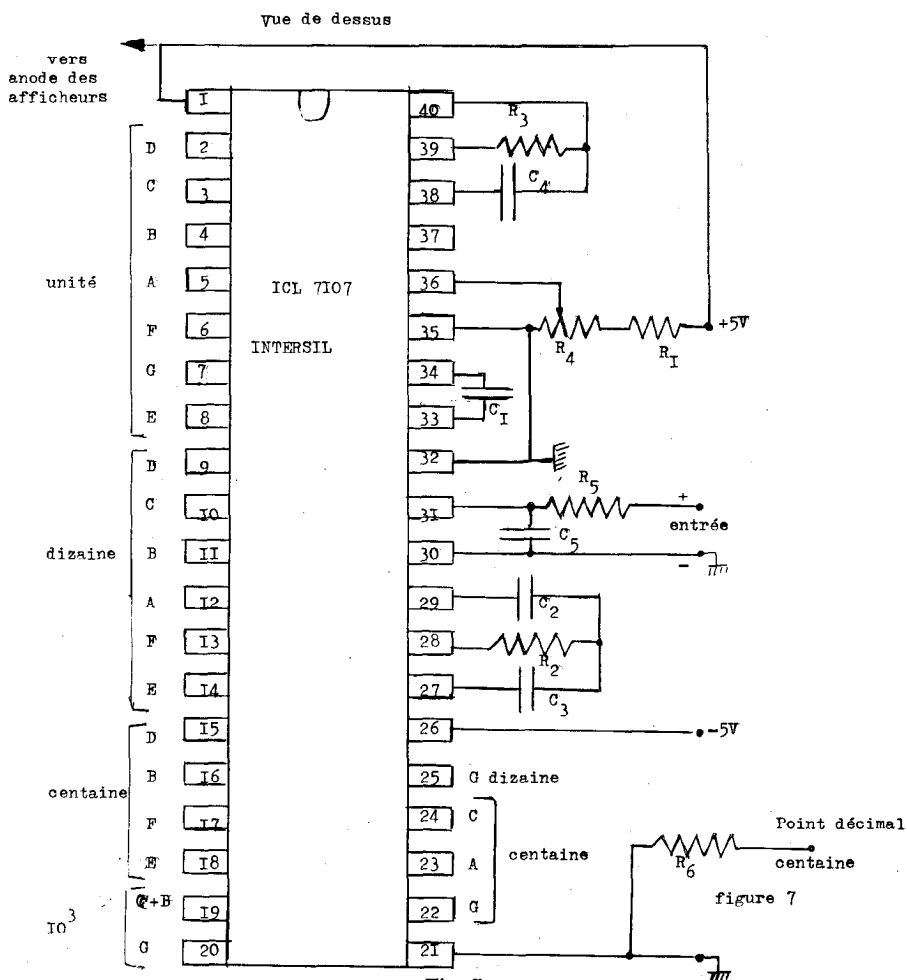


Fig. 7

$$R_1 = 22 \cdot 10^3 \text{ ohms.}$$

$$R_2 = 47 \cdot 10^3 \text{ ohms.}$$

$$R_3 = 100 \cdot 10^3 \text{ ohms.}$$

$$R_4 = 10^3 \text{ ohms ajustable multi-tours.}$$

$$R_5 = 10^6 \text{ ohms.}$$

$$R_6 = 150 \text{ ohms.}$$

$$C_1 = 10^{-7} \text{ F (mylar).}$$

$$C_2 = 0,47 \cdot 10^{-6} \text{ F (mylar).}$$

$$C_3 = 0,22 \cdot 10^{-6} \text{ F (polypropylène).}$$

$$C_4 = 100 \text{ pF (céramique).}$$

$$C_5 = 10 \text{ nF (céramique).}$$

Nous avons choisi un voltmètre à led utilisant le circuit Intersil ICL 7107. Les composants périphériques peu nombreux seront reliés aux différentes broches suivant les indications de la figure. La lecture pleine échelle avec de tels composants est de 199,9 mV.

III.2. Circuits imprimés.

A. Voltmètre :

a) côté cuivre (fig. 8),

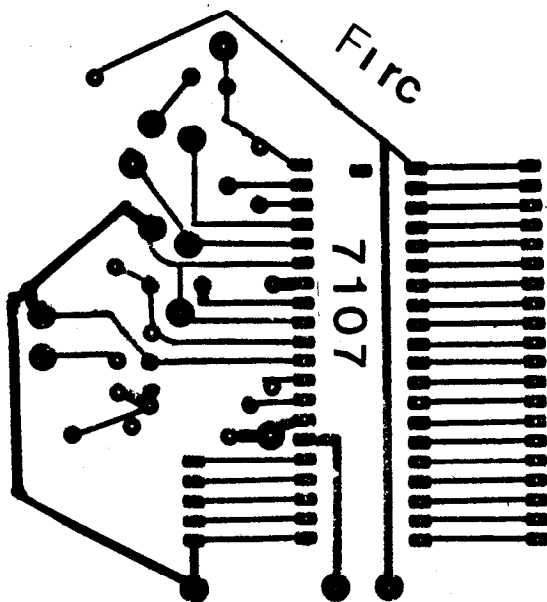


Fig. 8

b) côté composants (fig. 9).

B. Afficheur :

a) côté cuivre (fig. 10),

b) côté composants (fig. 11).

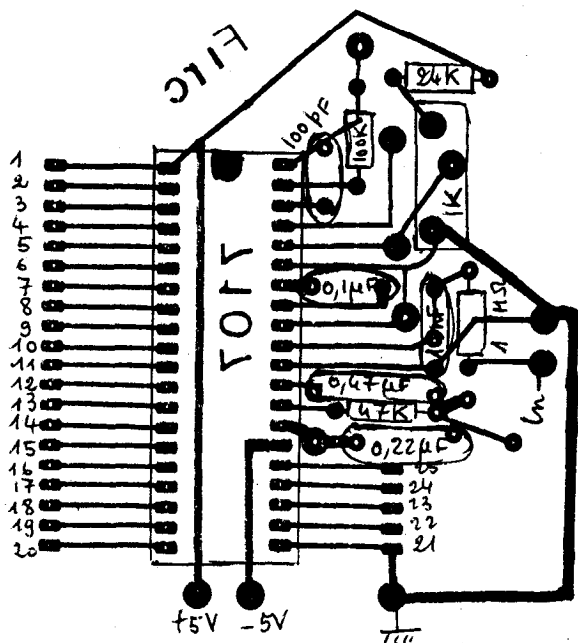


Fig. 9

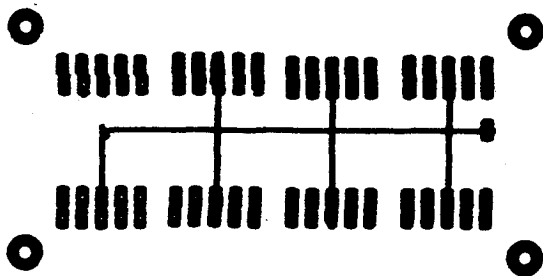


Fig. 10

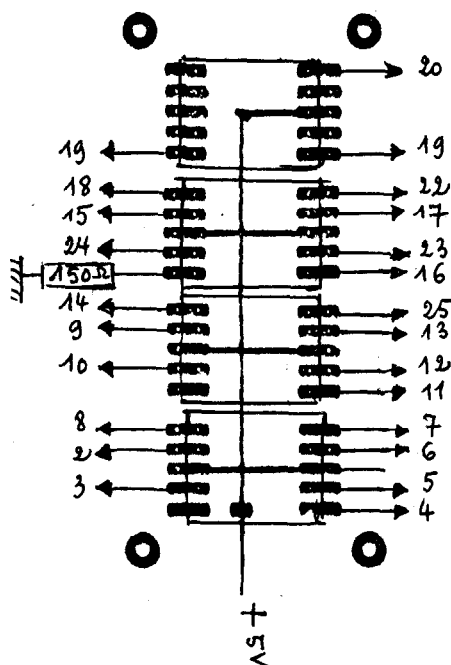


Fig. 11. — Les nombres précisent les liaisons électriques à assurer entre le circuit volt-mètre et le circuit afficheurs.

III.3. Liste des composants.

Composants	Prix en francs	Fournisseurs
1 circuit Intersil ICL 7107	90,00	2
1 support circuit intégré 2 × 20	3,85	1
5 résistances 1/4 W	1,00	3
5 condensateurs (1,50)	7,50	3
1 résistance ajust. 10 ³ ohms (15 tours)	11,50	3
3 ou 4 afficheurs verts FND 537 (17,60) (anode commune) (fig. 12)	70,80	1

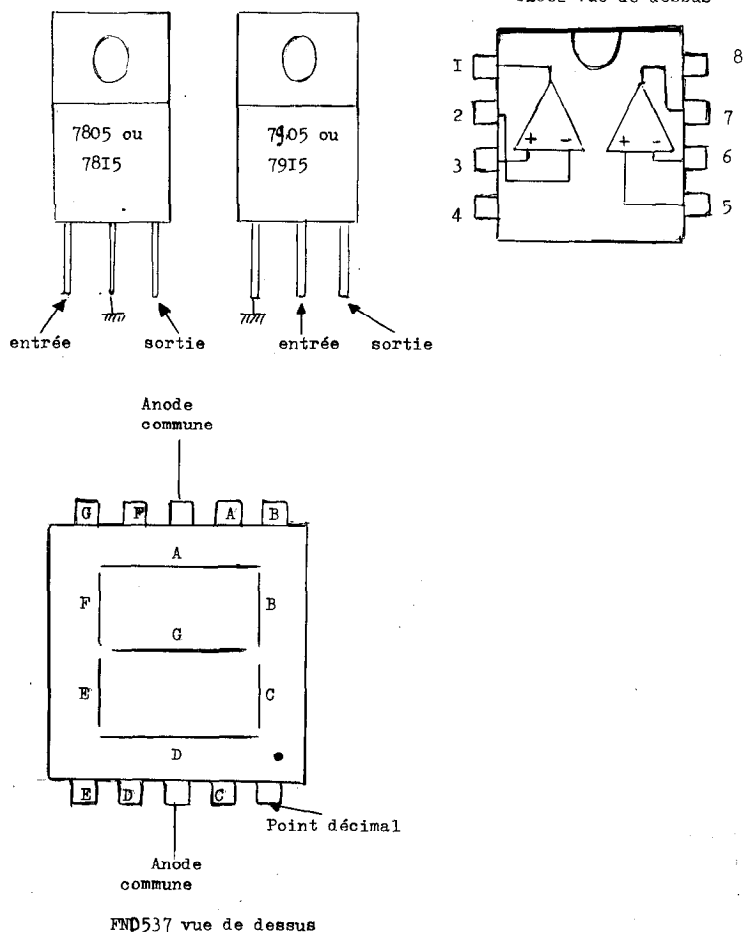


Fig. 12

IV. ALIMENTATION DU VOLTMETRE.

On utilisera un circuit imprimé identique à celui de l'alimentation du dispositif électronique; toutefois, le transformateur n'aura à fournir qu'une tension de 6 V efficaces et les régulateurs de tension intégrés seront du modèle 7805 et 7905 (boîtier T 0220).

V. REGLAGES.

V.1. Du voltmètre.

Le circuit Intersil ICL 7107 comporte un dispositif « auto-zéro », il indique donc zéro, lorsque les entrées sont court-circuitées. Le vérifier.

Ajuster R_4 pour que le voltmètre indique la valeur de la tension continue appliquée à ses bornes (tension inférieure à 0,200 V).

V.2. Du dispositif électronique.

Brancher l'appareil pendant une demi-heure.

Plonger les électrodes dans une solution tampon de $\text{pH} = 4$.

Ajuster la résistance R_9 , de manière à lire 4,0 unités de pH au voltmètre.

Rincer les électrodes à l'eau distillée. Sécher au papier filtre.

Plonger les électrodes dans une solution tampon de $\text{pH} = 10$.

Ajuster la résistance R_{10} de manière à lire une valeur L_1 voisine de 10 unités de pH .

Replonger les électrodes dans une solution tampon de $\text{pH} = 4$ en procédant comme précédemment. Lire la valeur L_2 du pH indiquée par le voltmètre.

Si la différence $L_1 - L_2$ est *inférieure* à 6 unités de pH : utiliser R_{10} pour *diminuer* L_2 de la demi-différence $(L_1 - L_2)/2$. Utiliser R_9 pour que la valeur indiquée devienne 4,00 unités de pH .

Si la différence $L_1 - L_2$ est *supérieure* à 6 unités de pH : utiliser R_{10} pour *augmenter* la valeur L_2 de la demi-différence $(L_1 - L_2)/2$. Utiliser ensuite R_9 pour que la valeur indiquée soit 4,00 unités de pH .

Plonger les électrodes dans la solution de $\text{pH} = 10$. Le pH -mètre doit indiquer la valeur correcte du pH .

Pour parfaire le réglage, recommencer une seconde fois l'ensemble de ces opérations.

Vérifier les indications de l'appareil pour des solutions de pH connu.

VI. RENSEIGNEMENTS COMPLEMENTAIRES.

VI.1. Adresses des fournisseurs.

1 CEDISECO, 19 bis, rue Jules-Ferry — 88000 Chantaine.

- 2 ELECTRONIQUE DIFFUSION, 62, rue de l'Alouette -- 50100 Roubaix.
- 3 HBN ou tout autre fournisseur en électronique.

VI.2. Réalisation des circuits imprimés.

Il existe de nombreuses méthodes, nous avons retenu la suivante :

Nous utilisons des plaques d'époxy photosensibilisées, un cache réalisé à partir de papier transparent, de signes transferts mécanorama et, bien sûr, du plan du circuit imprimé.

Nous insolons ensuite la plaque d'époxy à travers le calque, durant une vingtaine de minutes à l'aide d'un tube à UV placé à 10 cm environ (veiller à bien appliquer la plaque d'époxy sur le calque en plaçant par exemple une charge sur la plaque). Attention à la symétrie (fig. 13).

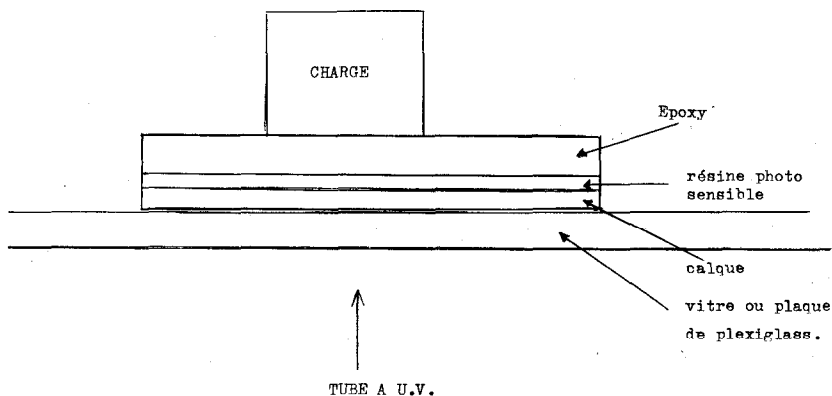


Fig. 13

Nous plongeons ensuite, durant environ 1 mn, la plaque dans un révélateur (solution de soude à 10 g/l) qui dissout la résine insolée.

Enfin, on procède à la gravure en immergeant la plaque dans une solution de perchlorure de fer à 500 g/l.

Il est conseillé d'utiliser des solutions se trouvant à des températures de l'ordre de 25 à 30 °C.

Pour faciliter l'attaque, on peut placer le bac contenant le perchlorure sur le platine d'un vieux tourne-disque dont le socle aura été calé de manière à ce que l'axe de rotation ne soit plus vertical. Le perchlorure se déplace alors dans le bac pendant la rotation, l'attaque est plus régulière et rapide.

L'attaque achevée, après rinçage, on enlève la résine protégeant les pistes de cuivre à l'aide d'acétone.

Les trous de passage seront percés avec un foret de 1 mm de diamètre, quelques fois de 1,2 mm pour certains composants.

VI.3. Précautions.

Placer les circuits intégrés sur leur support lorsque les soudures sont entièrement terminées.

Ne pas intervenir avec un fer sans enlever au préalable les circuits intégrés.

BIBLIOGRAPHIE

Note d'application Intersil ICL 7107.

Chemical Education, Janv. 1982. pH meters par Brian D. WARNER, Gerhard BOEHME et Karl H. POOL. Washington state University.
