

UN THERMOMETRE NUMERIQUE: LE TCF2

Il y a un an environ, nous décrivions dans les colonnes du Haut-Parleur, un petit thermomètre numérique à afficheurs LED, dont le succès dépassa nos espérances (voir, le TCF1 n° 1651). Il faut dire que, en ces temps difficiles, tout un chacun est sensibilisé à la question de température des locaux. De plus, l'affichage lumineux des LED est très attractif et retient l'attention de tous, même des moins intéressés par l'électronique.

Le TCF1 était équipé d'une sonde NS, le LX5700, capteur de température fonctionnant de -55°C à $+125^{\circ}\text{C}$. Ce circuit avait l'inconvénient d'un branchement à 3 fils mais l'avantage d'exister à ce moment. « Avait » est tout indiqué, car le LX5700 n'existe plus !! Par un de ces caprices coutumiers aux fabricants de circuits intégrés, ce circuit ne dura... que l'espace d'un hiver !

En remplacement NS préconisait le capteur LM335, variante sur le thème, mais dont la gamme de température ne va que de -10° à $+100^{\circ}\text{C}$. Pour faire mieux, il faut prendre le LM235 (-40° à $+125^{\circ}\text{C}$) ou le LM135 (de -55°C à $+150^{\circ}\text{C}$). Mais

ces composants ne sont plus « Grand public » et par conséquent, rares et chers !

Heureusement, la firme Siemens sortait un capteur de température particulièrement intéressant : le KTY10, couvrant sans problème de -50° à $+150^{\circ}\text{C}$, très économique et à deux fils seule-

ment, ce qui simplifie beaucoup la liaison avec l'électronique de conversion et d'affichage. Avec la complicité de ce capteur, le TCF1 est devenu... le TCF2 !!

Pour aider les lecteurs ne se trouvant pas en possession du n° 1651, nous redonnons dans les lignes

suivantes tous les renseignements nécessaires à la compréhension du fonctionnement, à la réalisation et à la mise au point de TCF2.

- 1 -

Etude théorique

1. Le schéma (voir fig. 1)

Un thermomètre numérique est un voltmètre associé à une sonde convertissant les températures en tensions à mesurer. On trouve donc deux parties :

a) Le voltmètre

Ici ce voltmètre est réalisé à l'aide du convertisseur A/D de Siliconix : le LD130. Ce circuit affiche sur 3 digits le résultat des mesures. La sensibilité est de 1 mV par point marqué. On peut donc mesurer de -999 mV à $+999\text{ mV}$. Au-delà de ces valeurs, le LD130 compte encore jusque ± 1400 points environ avec un clignotement de l'affichage avertissant du dépassement.

Le signe de polarité est indiqué par une diode LED marquant le signe « - ». La liai-

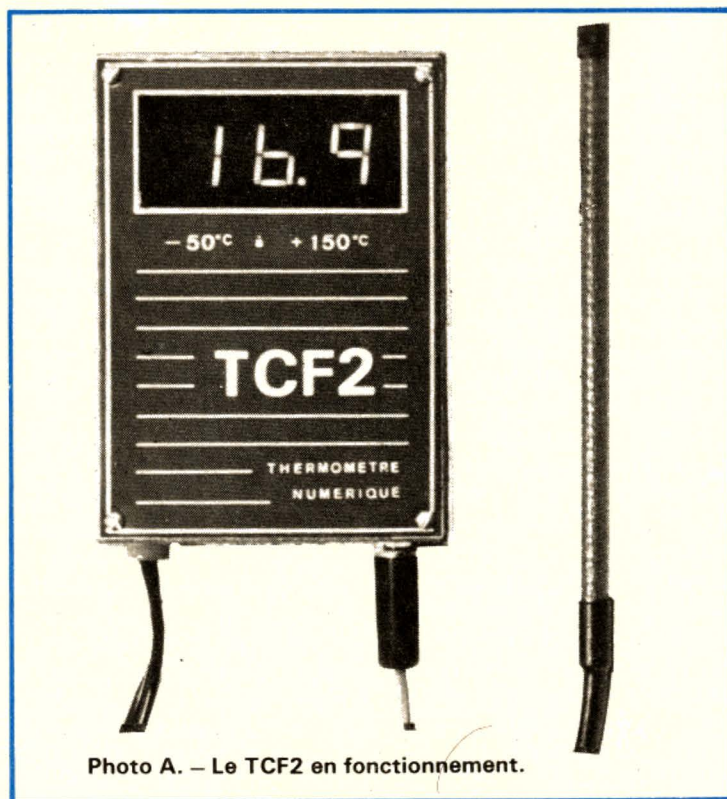


Photo A. - Le TCF2 en fonctionnement.

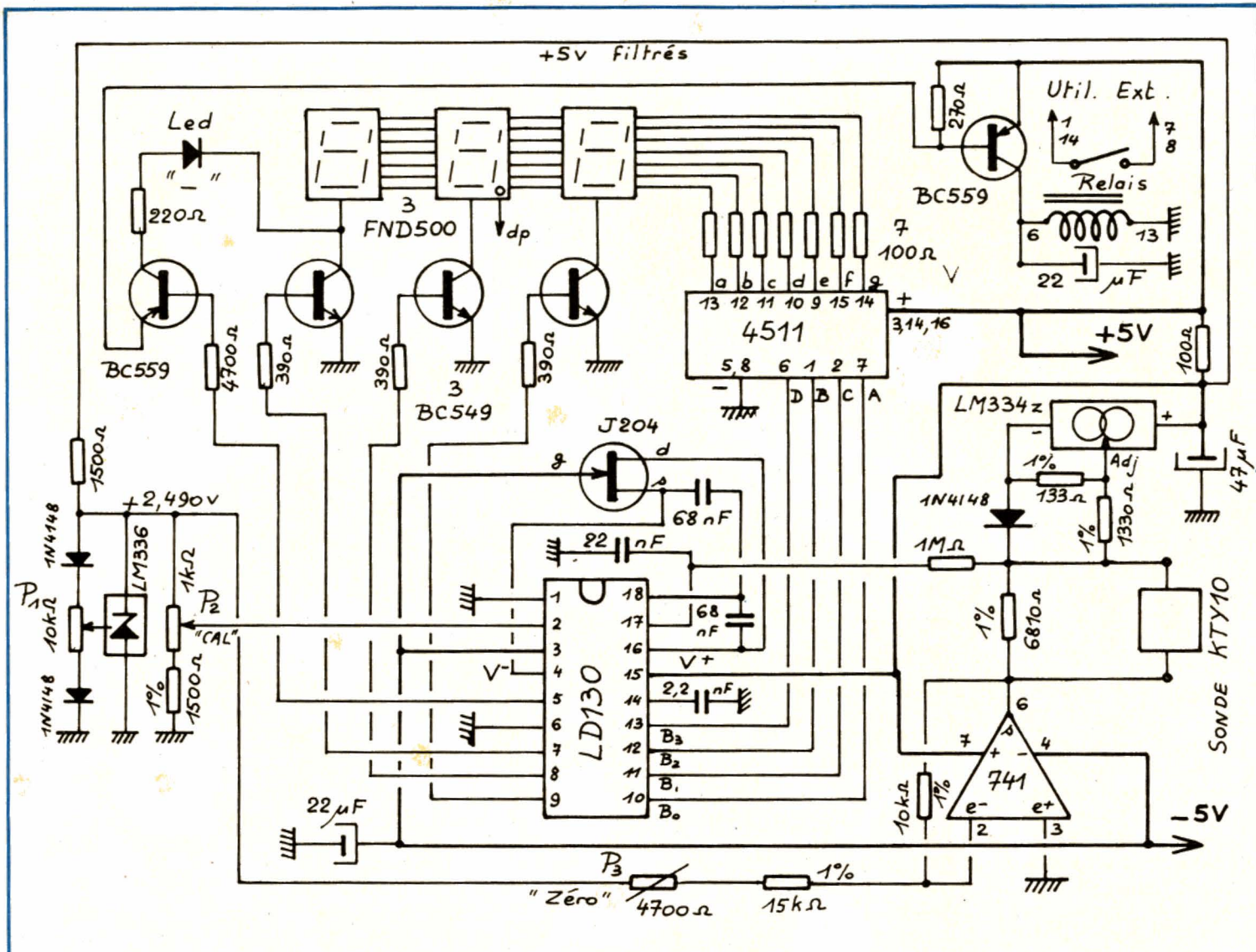


Fig. 1. - Schéma du TCF2.

son entre le LD130 et les afficheurs nécessite un 4511 pour convertir les informations sortant en code BCD, en informations 7 segments.

Les liaisons digits se font par l'intermédiaire de transistors. Les afficheurs FND500 sont à cathode commune.

Le LD130 nécessite une tension de référence externe. Une diode spéciale LM336Z de NS délivre + 2,490 V très stables et le potentiomètre de « calibration » prélève environ + 2,000 V appliqués au LD130. Le J204 (ou BF245) évite un blocage du LD130 à la mise sous tension. Cela se traduit par un affichage verrouillé sur « 007 ». Beaucoup d'ennuis peuvent provenir d'un FET inadapté, défectueux ou mal branché.

b) La sonde

Le capteur KTY10 se compose d'un cristal de silicium dopé N, fabriqué en technologie Planar. Deux points de contact, disposés sur le chip, permettent de réduire la dépendance du sens du courant à des valeurs négligeables. La résistance de diffusion mesurée entre les contacts est reproductible et permet une mesure de la température. Le capteur possède un coefficient de température positif très élevé. La caractéristique légèrement courbée peut être facilement linéarisée par un montage extérieur : simple résistance en parallèle.

Le KTY10 se trouve dans un boîtier plastique, semblable au TO92 et convient par-

faitement pour la mesure dans l'air ou d'autres fluides sur une plage de température de - 50 °C à + 150 °C. Pour obtenir une fiabilité élevée, les contacts du chip sont réalisés en technologie or à plusieurs couches.

Le courant permanent dans le capteur ne doit jamais dépasser 10 mA, en dessous de 25 °C et 1 mA à 150 °C.

La résistance nominale du KTY10 est de 2 000 Ω à 25 °C, sous 1 mA. Le KTY10 est toutefois disponible avec des tolérances variables. Le modèle A est à 1 %, le B à 2 %, le C à 5 % et le D à 10 %. Pour un thermomètre à une seule sonde, le modèle C est parfait au point de vue performance/prix. Lorsque l'on désire utiliser plusieurs capteurs commutés, il

faut choisir le modèle A. La maison Sélectronic aura les deux modèles en stock. Il faudra donc préciser le type désiré.

Pour tous les modèles, la dissymétrie de résistance lors de l'inversion de la polarité du courant est inférieure à 0,1 %.

Le coefficient de température de la sonde seule est de 0,75 %/°C, à 25 °C, sous 1 mA. La constante de temps thermique du KTY10, immergé dans l'huile est de 4 secondes au maximum.

Le capteur de température KTY10, au silicium délivre une information utilisable de - 50 °C à + 150 °C. Sa non-linéarité dans ce domaine est de l'ordre de 14 %, dans le pire des cas. Cette caractéristique est beaucoup plus in-

téressante que celle des thermistances (CTP ou CTN) classiques, qui ne sont pas utilisables dans un si large domaine de température. Dans le cas où l'on désire atteindre une précision de l'ordre de 1 %, on peut soit réduire la gamme de température pour travailler dans une région où la non-linéarité du KTY10 devient négligeable, soit utiliser un montage linéarisateur. Ainsi, en plaçant une résistance de $6\,800\ \Omega$ en parallèle avec le KTY10, on obtient une caractéristique dont la linéarité est entre -50 et $+150\ ^\circ\text{C}$ est excellente. En effet, l'erreur de linéarité n'excède pas $\pm 1\ ^\circ\text{C}$, c'est-à-dire $\pm 0,5\ %$. Entre $0\ ^\circ\text{C}$ et $+100\ ^\circ\text{C}$, la non-linéarité est de $\pm 0,2\ %$. Ainsi corrigé, le coefficient de température est de $0,66\ \%/^\circ\text{C}$. Le courant dans le KTY10 ne doit pas dépasser $1,5\ \text{mA}$.

Avec la résistance de $6\,810\ \Omega$, placée en parallèle sur le KTY10 (fig. 1), le capteur présente à $25\ ^\circ\text{C}$, une résistance typique de :

$$\frac{2\,000 \times 6\,810}{2\,000 + 6\,810}$$

soit de $1\,545\ \Omega$

Avec son coefficient de température de $0,66\ \%/^\circ\text{C}$, cela donne une baisse de $1\,545 \times 0,66\ \% \times 25 = 255\ \Omega$ pour un passage à $0\ ^\circ\text{C}$.

A cette température, la résistance équivalente du capteur est donc de $1\,545 - 255 = 1\,290\ \Omega$.

Les éléments associés à la LM334Z donnant un courant constant voisin de $1\ \text{mA}$, la tension aux bornes du capteur sera de $1,29\ \text{V}$ à $0\ ^\circ\text{C}$. Pour que le voltmètre marque 0 pour ces $0\ ^\circ\text{C}$ et se transforme ainsi en thermomètre centigrade, il faut faire un « offset » de cette tension, en reliant le retour du KTY10, non pas à la masse, mais à une contre tension de $-1,29\ \text{V}$. Ainsi le point « chaud » du KTY10 sera à $(-1,29\ \text{V}) + (+1,29\ \text{V}) = 0\ \text{V}$ et le résultat sera obtenu !

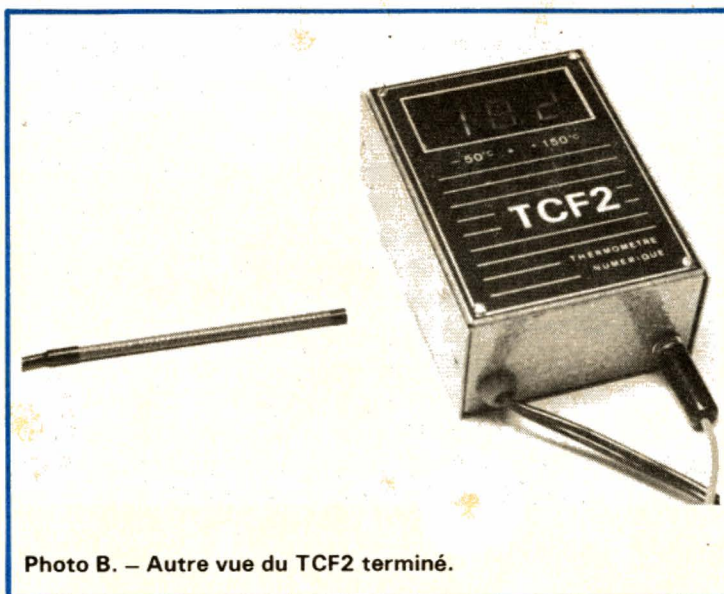


Photo B. - Autre vue du TCF2 terminé.

Cette contre tension est obtenue par un ampli OP type 741, monté en ampli inverseur. La tension très stable de $+2,490\ \text{V}$ est inversée et ramenée à la valeur nécessaire, grâce au rapport convenable des résistances déterminant le gain. Ce dernier étant réglable par P_3 , il est possible ainsi de caler convenablement le « 0 ».

Le coefficient de température de la sonde linéarisée étant de $0,66\ \%/^\circ\text{C}$ à $25\ ^\circ\text{C}$, la variation par degré est de $1\,545 \times 0,66\ \% = 10,19\ \Omega$. Avec un courant de $1\ \text{mA}$, cela donne une variation de tension de $10,19\ \text{mV}$ par degré, donc sensiblement de $1\ \text{mV}$ par $1/10\ \text{V}$ de degré.

Chaque point marqué par le voltmètre correspondra à $1/10^\circ$ de degré. La virgule fixe marquant les degrés sera sur le deuxième digit. En jouant sur la sensibilité du voltmètre par le réglage de P_2 (CAL), il est possible d'amener celle-ci à exactement $1,019\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ et d'avoir ainsi un affichage correct de la température. Le réglage du TCF2 se fait donc en deux points de la gamme :

- Calage du $0\ ^\circ\text{C}$, par P_3 , avec la glace fondante.
- Calage d'un deuxième point aussi distant que possible, par P_2 .

Les deux réglages sont interdépendants dans l'ordre P_3 puis P_2 .

c) Relais de températures négatives

Dès que le signe « - » s'allume, indiquant que la température devient négative, le courant de la LED polarise la jonction base-émetteur d'un BC559 et le fait conduire : le relais Reed passe au travail. Ce relais peut servir à déclencher un avertisseur de gel ou à assurer une mise hors gel d'une installation.

Si cette option n'est pas désirée, supprimer BC559, relais, $22\ \mu\text{F}$ et $220\ \Omega$, mais ne pas oublier de monter un strap au lieu et place de la $220\ \Omega$, faute de quoi la LED ne s'allumerait plus.

d) Alimentation

Elle est très simple (voir fig. 2). Le $+5\ \text{V}$ est régulé par un système zener/transistor. Le $-5\ \text{V}$ est simplement régulé par une zener.

Réalisation

1. Liste des composants

- 1 KTY10 de Siemens (C ou A, voir texte)
- 1 LD130 de Siliconix
- 1 4511
- 1 741 (rond ou dil 8 broches)

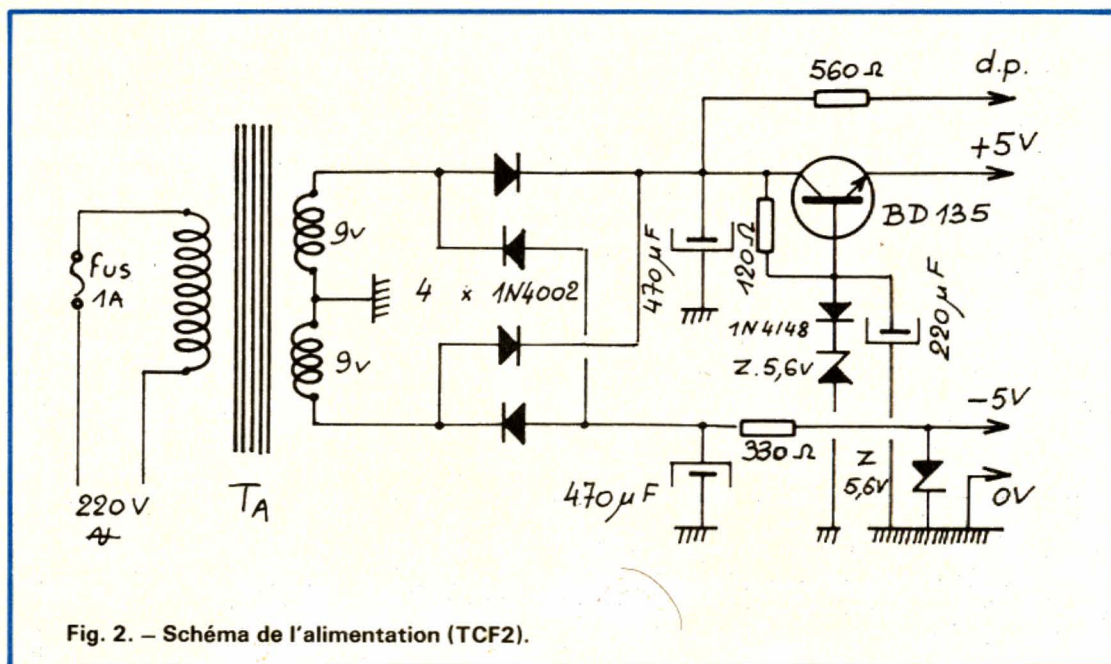


Fig. 2. - Schéma de l'alimentation (TCF2).

3 BC549B
 1 BC559B (option)
 1 LM334Z
 1 LM336Z
 4 1N4148
 4 1N4002
 2 Zeners 5,6 V 1/2 W
 1 BD135
 1 LED plate rouge
 3 FND500 ou équivalents
 1 relais Reed 5 V 1RT (option)

Résistances 5 % 1/4 W

8 100 Ω
 1 220 Ω
 1 270 Ω (option)
 1 330 Ω
 3 390 Ω
 1 560 Ω
 1 1 500 Ω
 1 1 800 Ω
 1 4 700 Ω
 1 1 MΩ
 1 120 Ω 1/2 W
 1 VA05 H de 10 kΩ
 2 T19S de 1 kΩ et de 4,7 kΩ

Résistances 1 % 1/4 W

1 133 Ω
 1 1 330 Ω
 1 1 500 Ω
 1 6 810 Ω
 1 10 kΩ
 1 15 kΩ

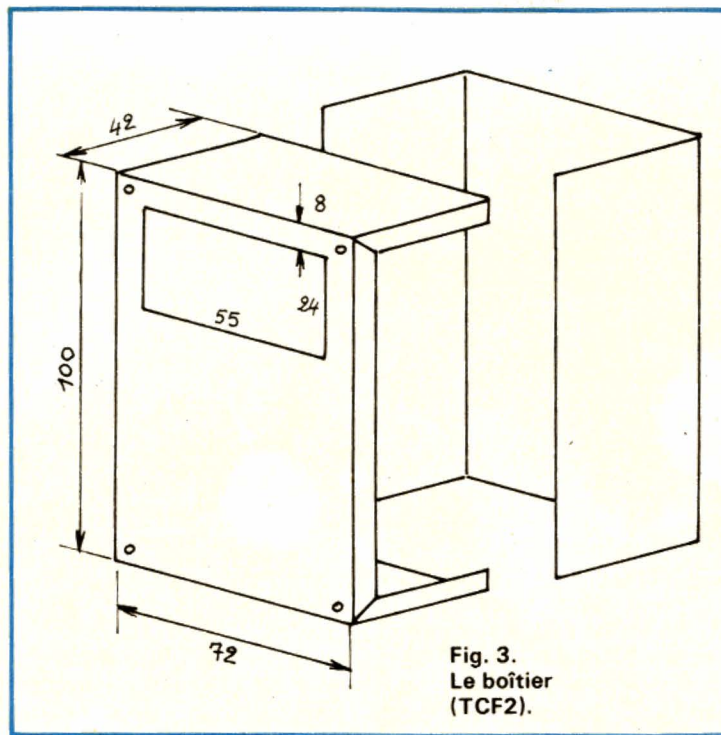


Fig. 3.
Le boîtier
(TCF2).

Condensateurs

1 2,2 nF MKH
 1 22 nF MKH
 2 68 nF MKH
 1 22 μF 25 V ch.
 1 220 μF 25 V ch.
 2 470 μF 25 V ch.
 1 22 μF perle tantale (option)
 1 47 μF perle tantale

Divers

1 transfo 2 × 9 V 3VA
 1 boîtier complet avec entretoises laiton et vis parker (12)
 1 scotchcal de face avant
 1 rhodoïd rouge
 1 fusible tubulaire de 1 A et supports

1 cordon secteur et son passe-fil
 1 jack de 3,5 mm avec pièces isolantes et sa fiche
 1 mètre de fil blindé de petit diamètre, sous plastique
 5 cm de thermorétractable de Ø 5 mm
 Fil de câblage
 1 jeu de circuits imprimés
 3 supports DIL de circuits intégrés
 N.B. : Tous ces composants sont disponibles chez Sélectronic à Lille. On y trouvera aussi le boîtier prêt à l'emploi et les circuits imprimés, étamés et percés.

2. Le boîtier (voir fig. 3)

On le réalisera en alu de 10/10 en suivant les indications de la figure. Quatre trous d'angles à pointer en se servant du circuit imprimé A en guise de gabarit sont percés à 25/10. Ils servent à la fixation de l'ensemble électronique. Le fond sera percé de trous d'aération, car les circuits d'alimentation et les afficheurs dissipent quelques calories qu'il faut éliminer. On se servira d'ailleurs de l'un de ces trous pour fixer le TCF2

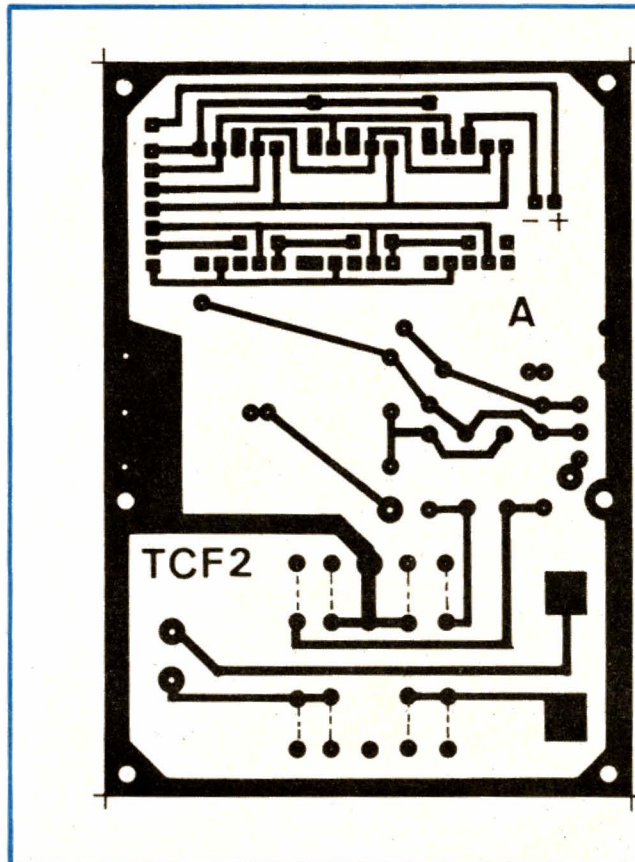


Fig. 4. - Circuit imprimé A.

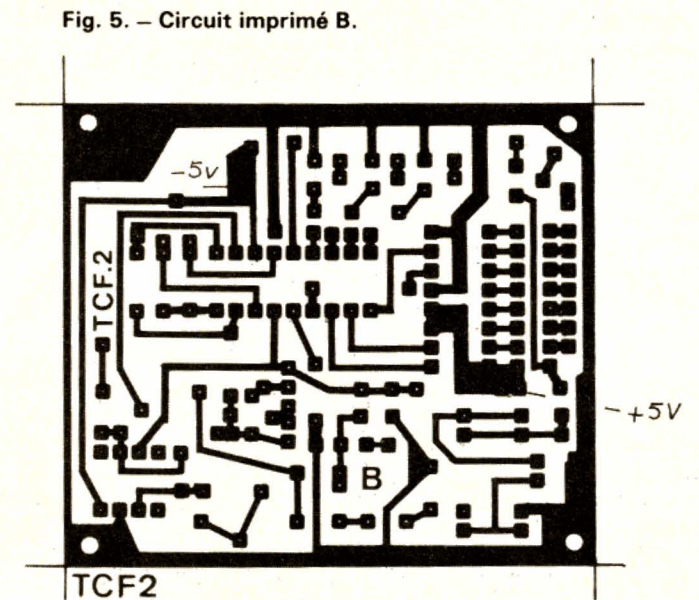


Fig. 5. - Circuit imprimé B.

sur un mur ou une cloison. Dans ce cas, toujours prévoir une cale d'écartement pour ne pas gêner l'aération.

3. Les circuits imprimés (fig. 4 et 5)

Les fabriquer en époxy de 15/10, de préférence par méthode photographique. Ce sont tous deux des simples faces. Etamer après gravure. Percer tous les trous à 8/10. Agrandir les trous de fixation de A selon le diamètre extérieur du tube laiton des entretoises, en principe 3 mm. Sur A, agrandir aussi les trous du transfo à 10/10, ainsi que les trous des gros chimiques.

Les trous d'angles de B sont agrandis à 25/10. Les picots du VA05H demandent des trous de 10 à 12/10.

4. Préparation mécanique

Le boîtier est prêt, les CI sont découpés et percés. Découper 4 entretoises de 26 mm et 2 de 15 mm, dans du tube de laiton de 3 mm. Souder ces 6 entretoises sur A en réglant leur longueur pour avoir 9 mm vers l'avant ; c'est-à-dire, côté composants. Les deux entretoises courtes sont en bas. Les entretoises longues dépassent de 15,5 mm de l'autre côté et permettent de fixer le circuit B en le maintenant à cette distance. L'ensemble des deux plaquettes se place dans le boîtier et est tenu en place par 4 vis Parker. On préparera au préalable la prise de ces vis dans les entretoises longues et courtes. Eventuellement si la prise était insuffisante, faire un léger étranglement en se servant de la pince coupante.

5. Montage électrique

Poser d'abord les composants sur le circuit imprimé A en suivant les indications de la figure 6. Les composants en traits pleins sont placés normalement, au recto. Par contre, ceux qui sont dessinés en pointillés sont soudés au verso, côté cuivre. On pourra aussi placer de ce côté la 560 Ω du point décimal. Avant de souder le

transfo, ne pas oublier les fils de câblage nus assurant la liaison avec les picots qui se trouvent du mauvais côté. Ne pas oublier les straps des afficheurs. Placer ceux-ci dans le bon sens et bien enfoncés. Limer les fils méplats de la LED pour que le corps prenne appui sur le CI.

Passer maintenant au circuit B (fig. 7). Placer les straps puis les supports de circuits intégrés. Souder les résistances et condensateurs et terminer par les semi-conducteurs. Débrancher le fer à souder pour souder le J204. Tous les composants en place, limer un peu les soudures au verso et faire un bon nettoyage au tétrachlorure ou similaire.

Assurer enfin la liaison entre les deux platines. Pour cela, il est commode de fixer B à l'envers sur A et déporté sur la gauche. Il faut souder les liaisons des 7 segments et de la LED, les liaisons des 3 digits, enfin les fils d'alimentation + 5 V, - 5 V et masse. Travail terminé, procéder à la vérification d'usage.

Souder provisoirement la sonde KTY10, au verso de B, laissé dans la position précédente, entre les deux points convenables, visibles figure 7.

6. Mise en service

Court-circuiter le condensateur de 22 nF, d'entrée du LD130. Avec les condensateurs MKH, cela se fait très simplement à l'aide d'une pince crocodile. Ne pas se tromper de condensateur. Mettre sous tension et constater que l'affichage se stabilise sur une valeur très voisine de 0. Inutile de continuer plus loin si le résultat n'est pas bon. Dans ce cas, vérifier encore une fois le travail.

Enlever le court-circuit et constater que maintenant l'indication affichée a un certain rapport avec la température ambiante. Vérifier l'action normale des deux réglages P₂ et P₃.

A l'aide d'un bon voltmètre, numérique de préférence, régler très soigneusement P₁,

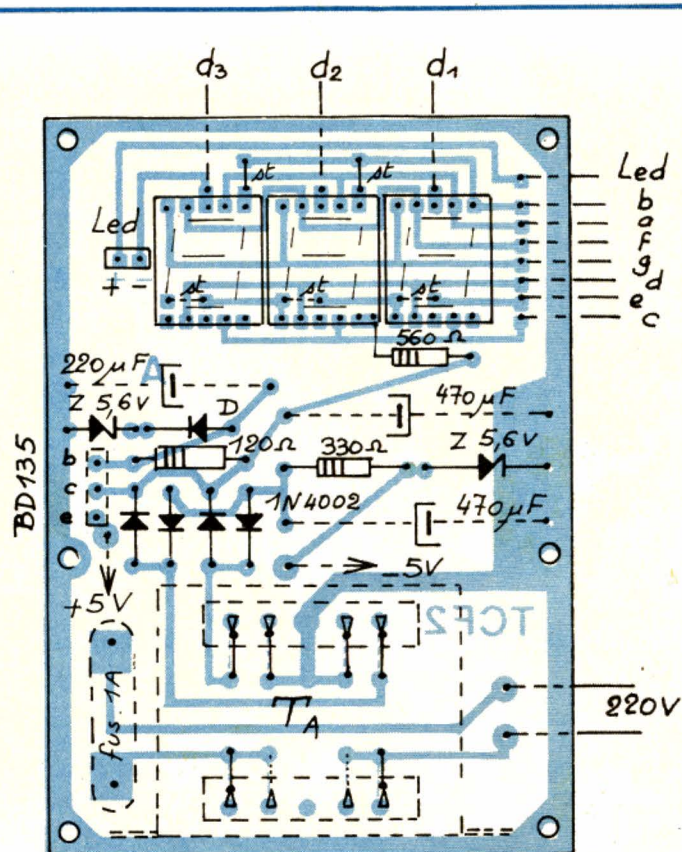


Fig. 6. - Pose des composants sur A (TCF2).

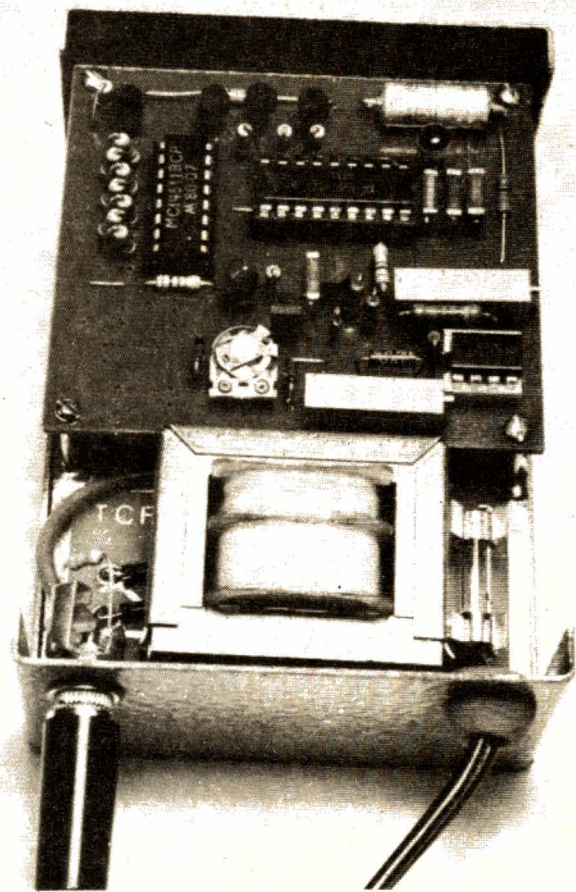


Photo C. - L'intérieur du TCF2. Remarquer la prise Jack et sa résistance.

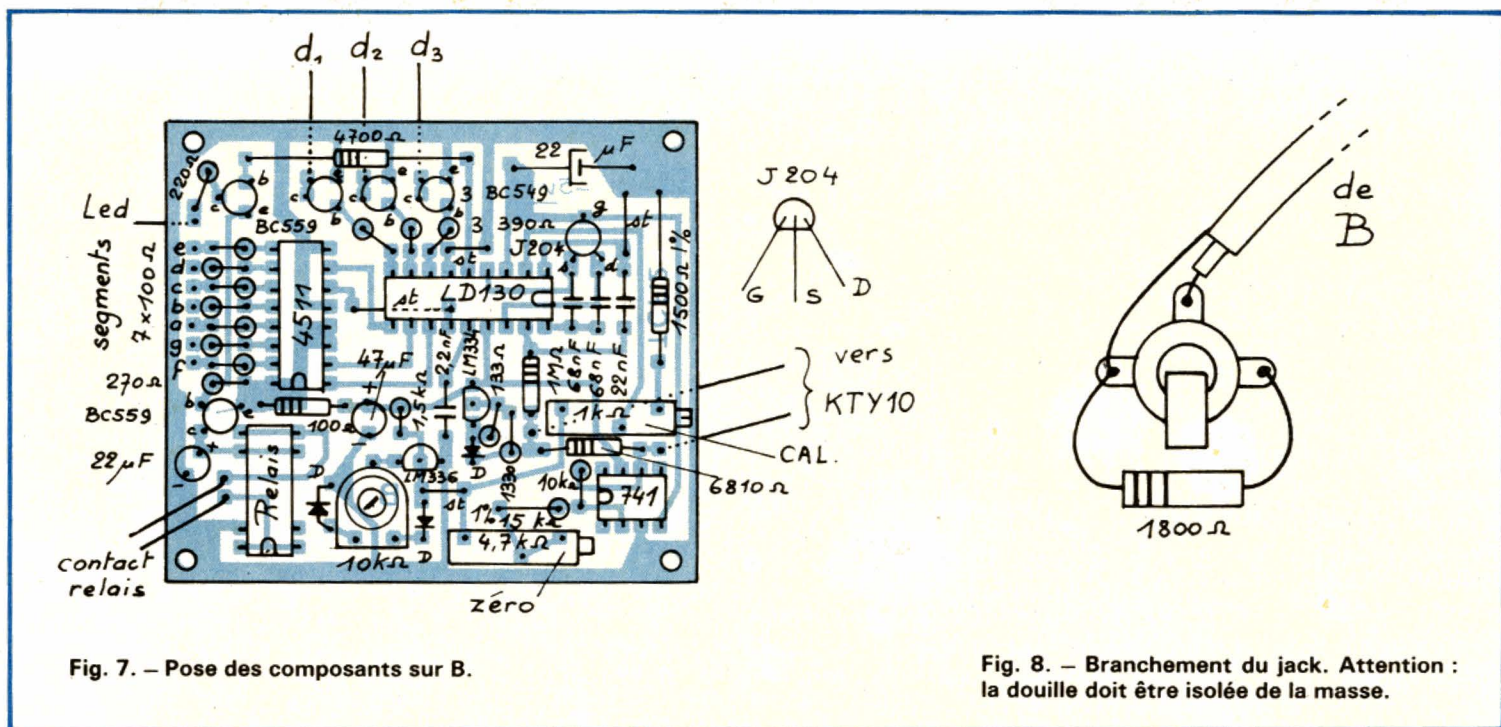


Fig. 7. — Pose des composants sur B.

Fig. 8. — Branchement du jack. Attention : la douille doit être isolée de la masse.

pour que la tension aux bornes de la LM336 soit de 2,490 V. C'est alors que le coefficient de température de la référence est le meilleur.

On pourra éventuellement régler P₂ pour une tension de référence de l'ordre de 2,000 V et P₃ pour que la tension au pied du KTY10 soit de - 1,290 V.

7. Mise en boîtier

Deux trous sont à prévoir dans le bas du boîtier : l'un côté fusible pour le passage du cordon secteur, l'autre, symétrique pour la pose du jack de sonde. Garnir le premier du passe-fil et monter la douille de jack en isolant de la masse avec un jeu de rondelles isolantes. Sur le CI A, le cordon secteur, soudé aux points convenables, passe sous le transfo et sort côté fusible.

Un petit morceau de fil blindé assure la liaison entre le CI B et le jack de sonde. Une résistance de 1 800 Ω est soudée sur le jack, comme le montre la figure 8. Cette résistance évite un blocage du LD130, lorsque la sonde est débranchée, TCF2 sous tension.

Mettre l'ensemble des deux CI en place et les fixer par les vis d'angles. Le CI B est fixé normalement.

8. La sonde

Se procurer un tube de plastique ou de carton baké-lisé d'un diamètre extérieur égal à celui du KTY10. Préparer le câble blindé de liaison. Souder le capteur en bout, en isolant ses deux connexions. Enfiler le câble dans le tube et coller le capteur, à l'araldite, en bout du tube isolant. La sortie de câble est consolidée avec du thermo-rétractable. Souder la fiche de jack à l'extrémité du câble. Vérifier que la résistance entre plots du jack est bien de l'ordre de 2 000 Ω.

9. Etalonnage

Mettre le TCF2 sous tension et le laisser fonctionner ainsi quelques temps.

● **Calage du ZERO.** Préparer un mélange de glaçons d'eau distillée et d'eau distillée. Brasser longuement jusqu'à fonte des 3/4 des glaçons. La sonde dans le liquide et l'équilibre thermique satisfaisant, régler P₃ pour afficher 00,0 °C.

● **Calage du deuxième point.** Il faut disposer d'un excellent thermomètre de référence, au 1/10 de degré, atteignant une température aussi élevée que possible. Placer thermomètre et sonde, très proches l'un de l'autre dans de l'eau chaude et caler P₂ pour un affichage égal. A la rigueur on peut se servir d'un thermomètre médical.

10. Applications

● **Thermomètre d'appartement.** C'est l'usage principal du TCF2. L'affichage à LED est le plus efficace, visible dans la plupart des conditions. Accrocher l'appareil à bonne hauteur, à un emplacement bien étudié, pour donner une valeur correcte de la température ambiante. La sonde est accrochée elle-même à une distance suffisante du TCF2 pour ne pas tenir compte de l'échauffement propre à cet appareil. Si vous désirez placer plusieurs sondes de type A, il faudra prévoir un système très simple de commutation, puisque la sonde est à 2 fils. Les modèles A, à 1 %, permettent d'avoir un seul étalonnage pour l'ensemble des capteurs. Privilégier la sonde principale, en faisant l'étalonnage par rapport à elle.

● **Thermomètre pour mesures.** Avec son câble souple et bien isolé, de longueur quelconque, la sonde permet des mesures de températures dans des lieux ou milieux divers. Nous laissons à votre imagination le soin de découvrir de multiples emplois du TCF2.

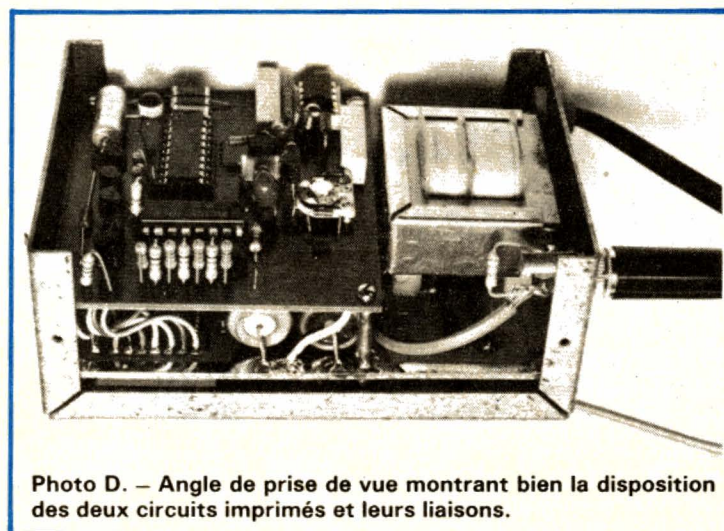


Photo D. — Angle de prise de vue montrant bien la disposition des deux circuits imprimés et leurs liaisons.