

Les courants de charge et de décharge ne circulent chacun qu'une demi-période de sorte qu'il faudra utiliser pour les résistances-série des valeurs deux fois plus faibles que si l'on avait travaillé en tension continue. La loi d'Ohm nous apprend que pour 80 mA R_C doit avoir une valeur proche de 68Ω et que pour un courant de 20 mA, R_D devra avoir une valeur de quelque 270Ω .

L'approche la plus sûre consiste à vérifier le courant obtenu en s'aidant d'un multimètre placé en calibre ampèremètre et d'ajuster la valeur des résistances si le besoin s'en faisait sentir. Cette mesure devra se faire séparément sur R_C et R_D , ainsi lorsque l'on procède à la mesure du courant de charge il faudra avoir enlevé R_D et inversement.

De même, la durée de charge devra elle aussi être déterminée expérimentalement. La règle est qu'une charge complète d'une pile requiert 1,4 fois plus d'énergie que celle qu'elle a dû fournir. Si l'on

suppose que la pile est totalement vide et que l'on dispose d'un courant de charge effectif de $1/25^{\text{ème}}$ de la capacité de la pile, la durée de charge requise avec le présent chargeur sera partant de $1,4 \times 25 = 35$ heures.

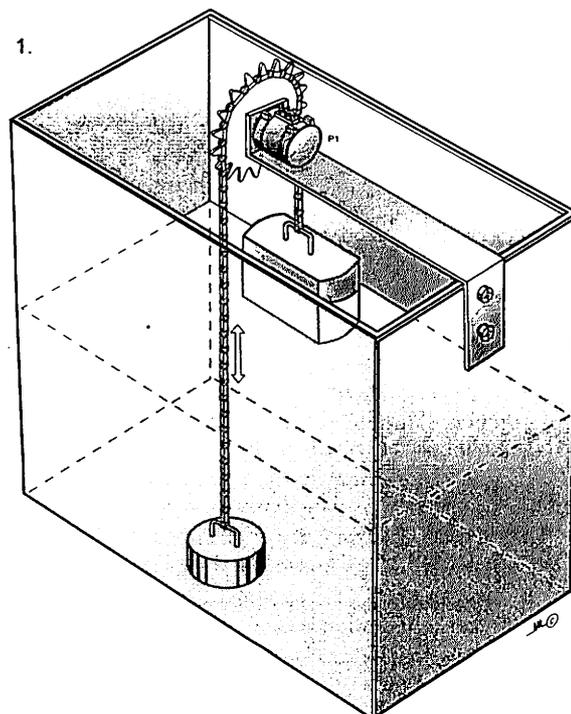
La tension alternative de 12 V pourra être dérivée d'un transformateur quelconque, dès l'instant où ce dernier est en mesure de fournir le courant requis. Le relais ajouté à l'électronique a pour fonction de garantir une déconnexion de la pile une fois écoulé le cycle de charge pour éviter qu'elle ne puisse se décharger malencontreusement au travers du transformateur.

Une dernière remarque : faites également attention, lors du dimensionnement des composants, celui de la résistance de charge en particulier, à leur puissance - dans le cas de courants supérieurs à 200 mA, on aura vite fait d'avoir besoin de passer à des résistances de type 1 W !

F. Ferreira de Almeida

273 Jauge de niveau de haute précision

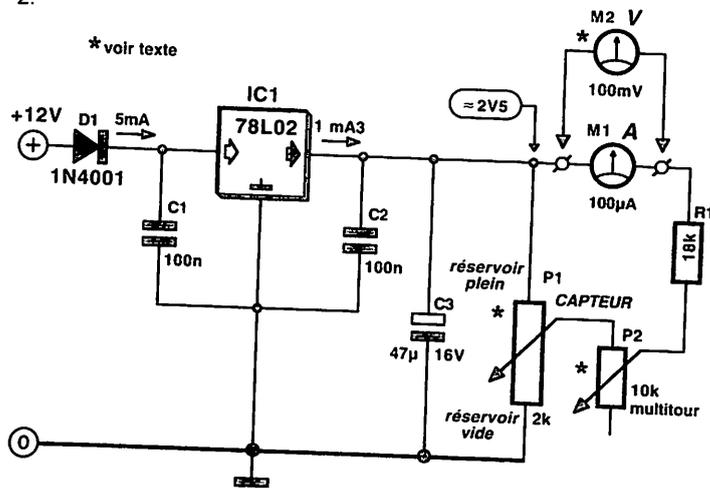
Des instruments de précision servant à mesurer la température, l'altitude et l'intensité lumineuse ont déjà été présentés dans Elektor.



Mais ceux d'entre nous utilisant l'eau de pluie ont jusqu'à présent cherché en vain une jauge de niveau de haute précision pour nos réservoirs d'eau de pluie non transparents. Tous les projets de jauges de niveau précédemment publiés sont basés sur la conductivité, ce qui ne s'applique pas à l'eau de pluie dont les valeurs de pH sont étalées sur une vaste plage. De plus, l'eau de pluie acide convertit le cuivre des électrodes en vert-de-gris, soluble et toxique. Nous présentons ici une jauge précise à fonctionnement continu pour réservoir (et autres types de contenant) d'eau de pluie, qui met fin à cette situation.

Une bonne jauge de niveau n'est pas basée sur la conduction d'un courant par le liquide, quelle que forme que prenne ce courant (continu, alternatif ou par impulsions pour éviter la polarisation des électrodes). En revanche, une sonde échantillonne mécaniquement la position de la surface supérieure du contenu ! Avec un tel système, il est aussi possible de mesurer le niveau d'un liquide non-conducteur, comme de l'huile chauffante. Ce dispositif, relativement simple (**figure 1**), présente les avantages suivants :
 - indication continue, facile à interpréter, grâce à un compteur à bobine mobile (0 à 100 %).

2.



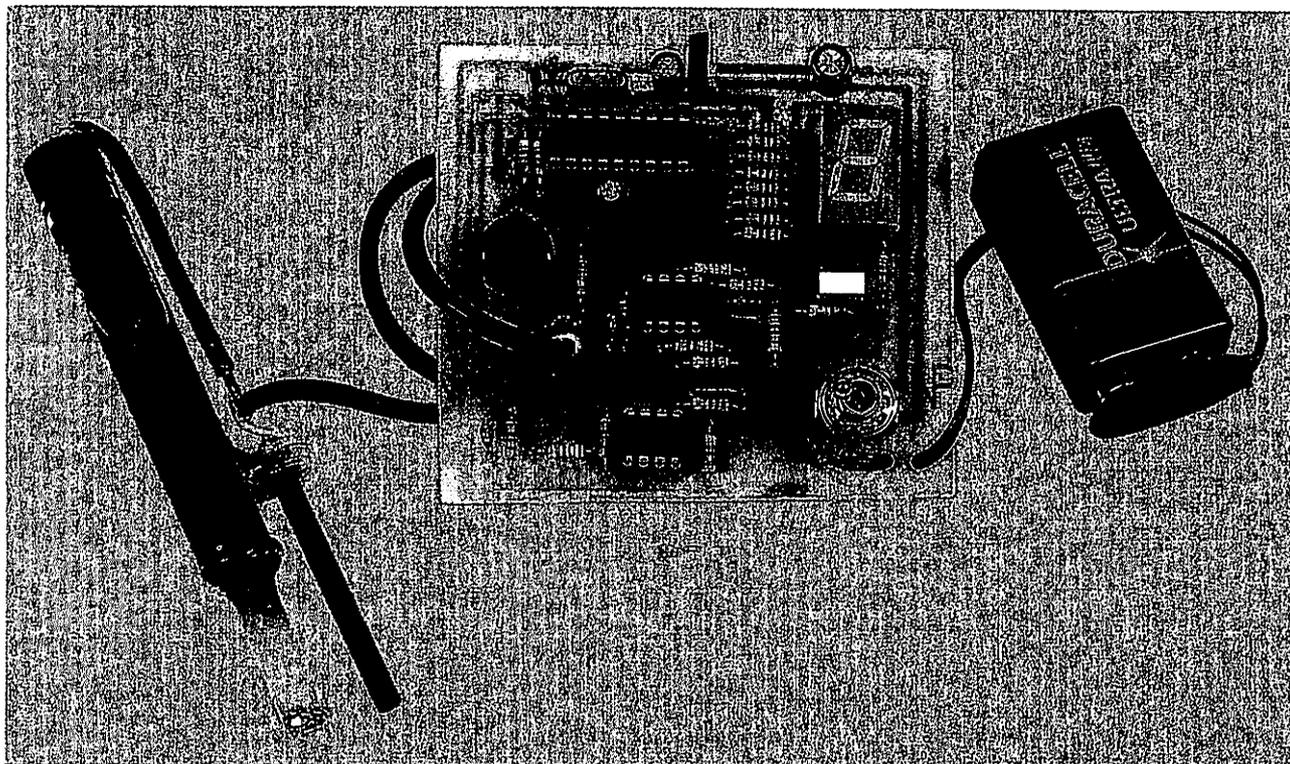
- un voltmètre numérique peut être facilement connecté en parallèle comme indicateur pour un affichage supplémentaire à distance.
 - la consommation d'énergie est très faible (par exemple $12\text{ V} \times 5\text{ mA} = 60\text{ mW}$), même en fonctionnement continu.
 - l'indication de niveau est précise (pour de l'eau ou de l'huile, quels que soient la valeur du pH et le degré de contamination).
 - un indicateur simultané de tendance est fourni lorsque le réservoir se remplit ou se vide, grâce à un affichage continu.
 - le calibrage est facile, avec ou sans liquide dans le réservoir.
- Une chaîne à ruban légère, en métal souple ou en plastique, court sur la roue d'engrenage sans glisser. Un flotteur (un pot de confiture par exemple) est attaché à l'une des extrémités de la chaîne, et un contrepoids à l'autre pour garder la chaîne sous tension. La masse du contrepoids doit être environ la moitié de celle du flotteur.
- La chaîne circule en avant ou en arrière selon que le niveau du liquide monte ou descend. Le mouvement de la chaîne déplace le balai d'un potentiomètre de précision (un potentiomètre multitour à 10 tours, un Spectrol type 534), comme on peut le voir sur le schéma du circuit (figure 2). La tension sur le balai (0 à 2,5 V, induite par le 78L02) est alors proportionnelle au niveau du liquide dans le réservoir.

Le compteur à bobine mobile de $100\text{ }\mu\text{A}$ connecté au potentiomètre est utilisé comme un voltmètre plutôt que comme un ampèremètre. Un courant de $100\text{ }\mu\text{A}$ correspond à 100 % de remplissage, ce qui facilite la lecture. À cause de la haute résistance du circuit de mesure (P2, R1 et M1), la consommation d'intensité de l'affichage est d'à peu près $0,1\text{ mA}$, ce qui est comparable à celle d'un voltmètre numérique. Le circuit satisfait néanmoins au « principe de linéarité », qui

veut que la résistance de l'alimentation connectée à un potentiomètre (ici d'une valeur de $2\text{ k}\Omega$) doive être au moins 5 à 10 fois supérieure à la résistance du potentiomètre. La résistance interne du compteur à bobine mobile (autour de $1\text{ k}\Omega$) s'ajoute à celle de la résistance fixe ($18\text{ k}\Omega$) et à une partie de celle de la résistance variable P2. Cette résistance de calibrage n'a besoin d'être ajustée qu'une fois, de sorte que le compteur indique un courant de $100\text{ }\mu\text{A}$ lorsque le réservoir est plein ou que le flotteur est soulevé à la hauteur correspondante. Après ce calibrage, la résistance variable de $10\text{ k}\Omega$ peut être remplacée par une résistance fixe. La hauteur maximale de remplissage dépend du diamètre d de la roue d'engrenage en plastique Module 1 (40, 50 ou 60 mm), puisque qu'avec un potentiomètre à 10 tours, la distance parcourue par le flotteur est égale à $h = 10\pi d$. Ceci implique une hauteur maximum de remplissage, respectivement de 125, 157 ou 188 cm . Pour la sécurité du montage, le potentiomètre doit être attaché à une robuste console d'angle en aluminium, qui à son tour est montée sur un support en bois placé au-dessus de l'ouverture principale du réservoir. Après avoir élargi à la foreuse le trou central de la roue d'engrenage, de 4 à 6 mm , vous devez, avec soin mais fermement, y forcer les $6,35\text{ mm}$ de l'extrémité de la tige du potentiomètre, qui doit alors être orienté exactement dans l'axe. Les $0,35\text{ mm}$ « manquants » du trou de la roue d'engrenage garantissent une bonne stabilité à la tige du potentiomètre. On peut se procurer la chaîne en ruban et la roue d'engrenage chez Conrad.

W. Zeiller

Indicateur d'usure pour perchlorure de fer



Ce petit montage vous indiquera l'état d'épuisement d'une solution de perchlore de fer sur une échelle de 0 à 9.

Il vous permettra également d'estimer sommairement le temps nécessaire à la gravure des plaques cuivrées des circuits imprimés.

La réaction chimique utilisée pour la gravure des circuits imprimés est une réaction simple d'oxydo-réduction. Elle consiste à oxyder le cuivre solide Cu en ion Cu^{2+} et à réduire l'ion fer Fe^{3+} en ion Fe^{2+} .

Principe

Lorsque la solution s'use, la concentration en Fe^{3+} diminue et celle en Fe^{2+} , très faible initialement, augmente parallèlement. C'est ce rapport $(\text{Fe}^{3+})/(\text{Fe}^{2+})$, significatif de l'état d'épuisement de la solution que va mesurer notre montage, grâce à la valeur du potentiel d'oxydo-réduction (redox) donné par la formule de Nernst :

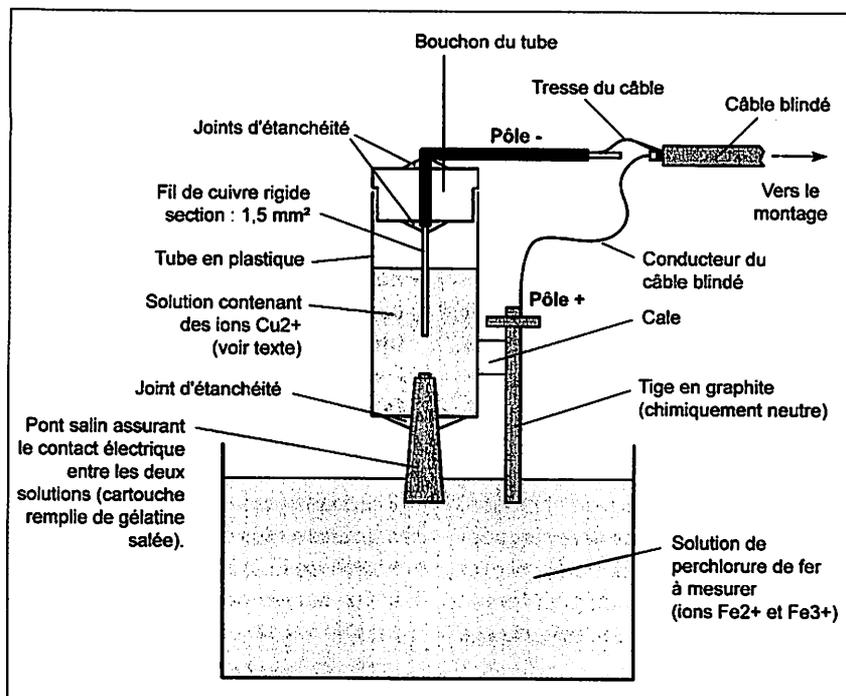
$$P = 0,77 + 0,06 \text{ Log } \left[\frac{(\text{Fe}^{3+})}{(\text{Fe}^{2+})} \right] \text{ à } 25^\circ\text{C} \text{ pour le couple } \text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}$$

Afin de déterminer ce potentiel, nous allons former une pile en associant deux couples redox en solutions séparées. Le premier $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ de la solution de perchlore de fer à tester et le second, qui, pour des raisons pratiques, sera Cu^{2+}/Cu (solide).

Le potentiel redox de la demi-pile Cu^{2+}/Cu intégrée dans le corps de la

sonde (voir **figure 1**) variera peu avec le temps car cette solution est isolée de l'extérieur et le courant débité est très faible. Aussi, toute variation de la tension mesurée aux bornes des électrodes de l'ensemble constitué par ces deux demi-piles viendra d'une variation du potentiel de la solution contenant le perchlore de fer, et donc d'un changement du rapport de concentration $(\text{Fe}^{3+})/(\text{Fe}^{2+})$ qui nous intéresse.

La tension aux bornes de la pile ainsi formée avoisine les 0,55 V lorsque la solution de perchlore est à moitié usagée [lorsque $(\text{Fe}^{3+}) = (\text{Fe}^{2+})$]. Cette tension servira de référence au montage comme nous le verrons plus loin. La plage totale de variation qui nous intéresse s'étend sur - 48 mV / + 48 mV autour de cette valeur de référence, ces valeurs étant issues de la loi de Nernst citée ci-dessus. Cette plage sera divisée en 8 pas de 12 mV



1 Description de la sonde

et à chacun sera associé un chiffre de 0 à 9, (lisible sur un afficheur), lié au pourcentage d'ions Fe^{3+} présents en solution par rapport à la quantité initiale (voir **tableau 1**).

Description du montage

Le montage comprend quatre sous-ensembles, dont trois sont associés à un circuit intégré. Le premier est un générateur de rampe de tension constitué par T1, R8, R9, R10, C2 ainsi que T2 et R15. Le second est un dispositif d'étalonnage automatique,

construit autour des comparateurs de IC3. Le troisième est le dispositif de mesure proprement dit associé aux deux comparateurs de IC1 et le dernier est le système de commande constitué du PIC 16F84A (IC2), de l'afficheur AFF1 et du poussoir de demande d'étalonnage P1.

Le générateur de rampe fonctionne suivant le principe de la charge d'un condensateur à courant constant (C2). La tension à ses bornes demande environ $375 \mu s$ pour augmenter de 12 mV. Cependant, du fait de la dispersion des caractéristiques des composants, on ne peut se satisfaire

de cette valeur calculée théoriquement, aussi le système d'étalonnage permet-il au PIC de déterminer exactement le temps mis par cette rampe de tension pour augmenter de 12 mV, ce qui correspond au pas élémentaire de mesure. Pour ce faire, le diviseur de tension R22/R23/R24 permet d'obtenir, aux bornes de R23, une tension proche de 120 mV. Il suffit alors, après décharge de C2 par l'intermédiaire de T2 commandé par le PIC, de mesurer le temps qui sépare le passage à l'état "bas" de la sortie de IC3B (début du comptage) du passage à l'état "bas" de la sortie de IC3A (fin du comptage). Les états "bas" sont significatifs ici puisque la rampe de tension est reliée à l'entrée (-) des comparateurs. Ensuite, le PIC divise par 10 cette valeur pour obtenir la valeur temporelle du pas de 12 mV. Les incertitudes des seuils des deux comparateurs n'autorisent pas la mesure directe d'une valeur aussi faible que 12 mV suivant ce principe. Avec 120 mV, l'erreur due à ces incertitudes ne dépasse pas 5%. La mesure de la tension fournie par la sonde suit exactement le même principe, mais cette fois, c'est le temps séparant le passage à l'état "haut" de IC1B (début du comptage) du passage à l'état "haut" de IC1A (fin du comptage) qui est mesuré par le PIC. Les résistances R11/R12 fixent le potentiel du pôle négatif de la sonde par rapport à la masse du montage. R13 charge la sonde et R14 fournit un faible courant aux entrées des comparateurs si nécessaire. Lorsque la sonde ne plonge pas dans le perchlorure de fer, elle se comporte comme un circuit ouvert et la tension au point commun de R13/R14 monte en conséquence, ce qui fera afficher par le montage le chiffre 9 une fois qu'il aura été étalonné.

Cet étalonnage, qui ne doit être effectué en principe qu'une seule fois, en plus de comprendre la procédure décrite auparavant, demande de plonger la sonde dans une solution de perchlorure à demi-usagée $[(Fe^{2+})=(Fe^{3+})]$. Le PIC mesure la tension présente aux bornes de la sonde et, connaissant la valeur de 12 mV du pas, lui retire alors 5 fois cette valeur pour définir le 0. Certes,

Tableau 1 - Signification du chiffre affiché par le montage

Chiffre affiché	Tension mesurée par rapport à la tension de référence (mV)	Rapport $(Fe^{3+})/(Fe^{2+})$	Fraction de la concentration initiale en (Fe^{3+}) restante	Durée de la gravure
9	> 48	> 6,3	> 86 %	< 4' 40"
8	36 à 48	4 à 6,3	80 % à 86 %	5' à 4' 40"
7	24 à 36	2,5 à 4	71 % à 80 %	5' 40" à 5'
6	12 à 24	1,6 à 2,5	61 % à 71 %	6' 30" à 5' 40"
5	0 à 12	1 à 1,6	50 % à 61 %	8' à 6' 30"
4	-12 à 0	0,6 à 1	39 % à 50 %	10' 20" à 8'
3	-24 à -12	0,4 à 0,6	29 % à 39 %	13' 50" à 10' 20"
2	-36 à -24	0,25 à 0,4	20 % à 29 %	20' à 13' 50"
1	-48 à -36	0,16 à 0,25	14 % à 20 %	28' 40" à 20'
0	< -48	< 0,16	< 14 %	> 28' 40"

le seuil entre le 0 et le 1 se situe à -48 mV , soit 4 fois le pas, mais la base même du 0 est définie à -60 mV pour des raisons pratiques du programme, (même si toute tension en dessous de -60 mV est considérée elle aussi comme 0). On détermine ainsi la part fixe de la tension que l'on soustraira à toute nouvelle valeur mesurée et dont le résultat, divisé par la valeur du pas de 12 mV , donnera le chiffre compris entre 0 et 9, indicateur de l'état d'usure du perchlorure. Les valeurs du pas et de cette part fixe déterminées durant l'étalonnage sont stockées en EEPROM. Ainsi, à chaque mise sous tension, le PIC récupère ces données automatiquement. Une fois en service, le montage effectue environ une mesure par seconde, aussi le résultat

est-il immédiatement disponible dès que la sonde est plongée dans la solution à tester.

Mise en œuvre pratique Réalisation de la sonde

La réalisation requiert un peu de matériel ce qui ne pose cependant aucune difficulté d'approvisionnement :

- Un tube en plastique possédant un bouchon hermétique (Ex : tube d'aspirine, on retirera alors la poudre dessiccative présente dans le bouchon). Le tube doit être bien lavé.
- Une cartouche d'encre, petit format dont on coupera le fond afin qu'elle

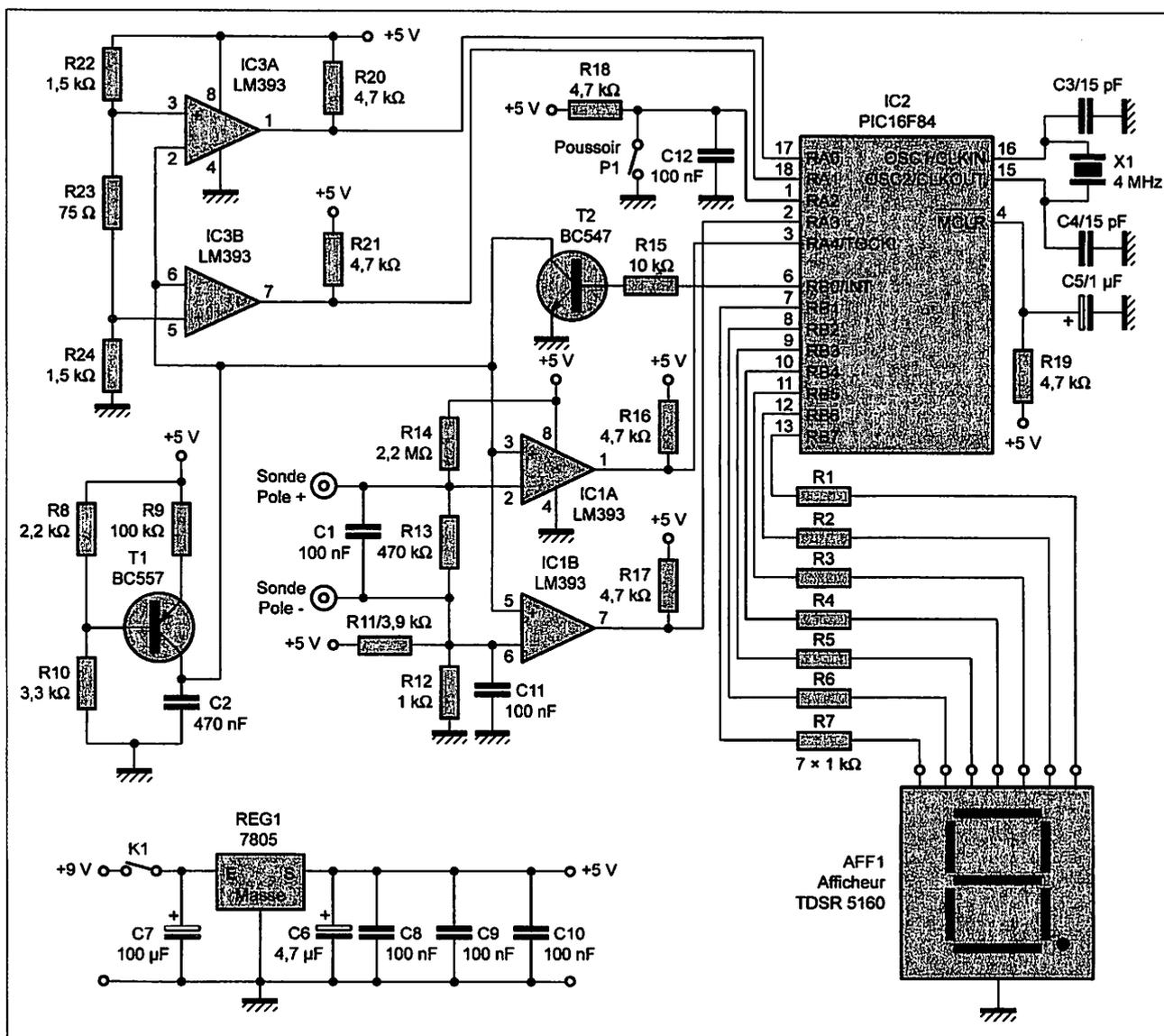
soit ouverte aux deux extrémités. La cartouche devra être soigneusement rincée.

- De la gélatine alimentaire en poudre (au rayon pâtisserie. Si vous la trouvez en feuilles, la découper en petits morceaux) et du sel pour fabriquer le pont salin.

- Enfin, un bâtonnet de graphite avec sa coiffe métallique, **issu uniquement d'une pile saline**, (ni alcaline, ni rechargeable etc.) de format R6/1,5 V. La pile peut être usagée, cela n'a pas d'importance.

La figure 1 représente les différents constituants assemblés de la sonde. On trouvera plus loin le mode de préparation de la solution servant à remplir le corps de la sonde. Il est conseillé de la préparer en premier,

2 Principe de fonctionnement du montage



vu le temps nécessaire à son obtention.

Pour fabriquer le pont salin, préparer une solution d'eau saturée en sel et verser dans une petite casserole trois volumes d'eau salée pour deux volumes de gélatine en poudre (**respecter le dosage** sinon le résultat est inexploitable). Mélanger puis laisser épaissir quelques minutes. Vider alors l'eau en excès qui surnage s'il y en a. Chauffer très doucement, la gélatine fondant à très basse température (un chauffage brutal la rend inutilisable). Dès qu'elle devient assez fluide, la couler dans la cartouche en tenant un bref instant cette dernière surélevée de façon à ce que l'air en soit chassé. L'appuyer sur sa pointe pour la remplir alors jusqu'en haut. Il faut maintenir la cartouche ainsi verticalement jusqu'à ce que la gélatine se solidifie, ce qui peut prendre plusieurs minutes. Sinon elle se vide, auquel cas, il faut ajouter la quantité manquante. Ensuite, la cartouche tient seule sur sa pointe pour achever son refroidissement en deux heures. La fabrication du pont salin est alors achevée. Il faut le laisser plongé dans une solution d'eau très salée pour qu'il ne se déshydrate pas.

Le corps de la sonde

Percer la base du tube en plastique avec un foret de 6,5 mm de diamètre et introduire le pont salin (la cartouche) dans le trou ainsi réalisé. On obtient l'étanchéité avec du joint en silicone ou bien tout simplement à l'aide d'un pistolet à colle. Attention cependant, la chaleur de la colle thermique fait fondre la gélatine, il faut donc laisser l'ensemble au repos plusieurs heures afin qu'elle se solidifie à nouveau. Percer le bouchon et y introduire un fil de cuivre rigide de 1,5 mm² dénudé sur ses deux derniers centimètres. Le bout du fil doit atteindre la moitié de la profondeur du tube. Encore une fois, appliquer un joint étanche (silicone ou pistolet à colle) autour du trou.

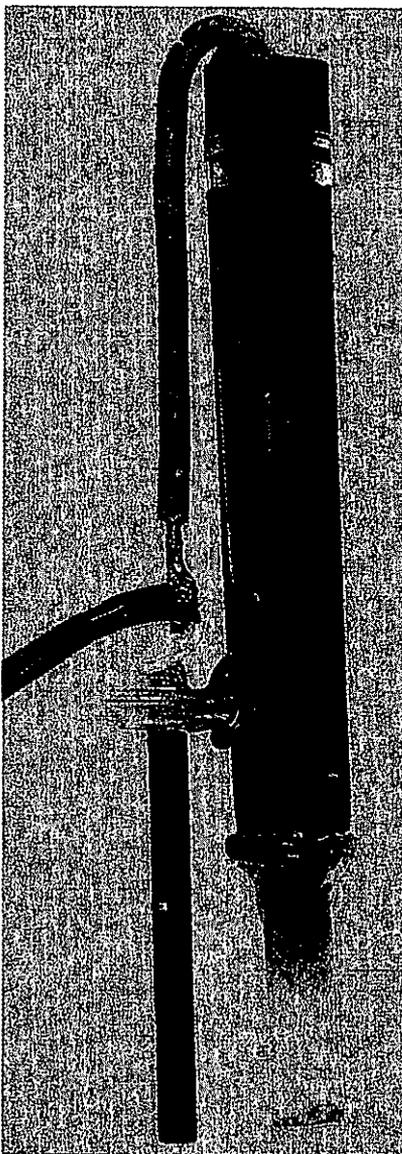
Il n'est pas difficile d'extraire la tige de graphite constituant le pôle positif d'une pile saline. Il faut d'abord retirer l'enveloppe métallique, puis l'enveloppe plastique qui protègent la pile,

saisir à la pince, en l'entourant, l'anneau en plastique qui marque la séparation entre le sommet de la pile et le cylindre de zinc. Faire pivoter avant de tirer doucement en continuant de tourner, la tige s'extraie aisément ainsi (Attention, si vous prenez avec la pince la petite pointe métallique qui forme le pôle positif, vous êtes assuré de casser la tige de graphite).

Une fois celle-ci retirée et soigneusement lavée, la coller sur le côté du tube en plastique en interposant une cale, les extrémités de la cartouche et de la tige de graphite devant se trouver à même hauteur.

Relier la sonde au câble blindé provenant du montage. La tresse sera soudée au fil de cuivre rigide alors que le fil conducteur sera soudé à l'embout

Réalisation de la sonde dans un tube en verre ou en plastique



métallique de la tige en graphite. Il reste à remplir la sonde avec la solution contenant les ions Cu²⁺ avant de replacer le bouchon. Voyons comment préparer cette solution. Si la sonde en fabrication doit rester vide durant plusieurs jours, il faudra la plonger entièrement dans l'eau salée afin que le pont salin ne se déshydrate pas, auquel cas il deviendrait inutilisable.

Solution étalon

Il faut d'abord préparer une solution épuisée de perchlore de fer. Pour cela, préparer deux tubes d'aspirine vides et lavés (supprimer la poudre dessiccative du bouchon). Introduire dans chacun environ 50 cm de fil de cuivre de 1,5 mm² dénudé en le pliant de nombreuses fois sur lui même. Remplir les deux tubes à 1 cm du bord avec une solution neuve de perchlore et refermer hermétiquement les tubes. Attendre au moins trois jours. À partir de ce moment, le cuivre ne se dissout presque plus, mais il convient de le laisser par sécurité. La solution est prête et doit être gardée à l'abri de l'air.

En premier lieu, utiliser une partie de cette solution pour remplir la sonde, il suffit de la remplir aux deux-tiers. Replacer le bouchon du corps de la sonde, elle est alors prête.

Entre deux mesures, lorsque la sonde n'est pas utilisée, l'électrode formée par le pont salin doit tremper dans de l'eau très salée pour éviter le dessèchement et l'appauvrissement en sel de la gélatine, ce qui autrement fausserait les mesures. Un tout petit récipient fixé par un adhésif suffit amplement, mais il faut veiller à ce que l'eau ne s'évapore pas.

Prélever un volume connu de la solution épuisée qui vous reste, (faire attention qu'il n'y ait pas de copeaux de cuivre en suspension). Le mélanger dans un flacon avec un même volume de perchlore neuf (de la solution de perchlore d'origine), afin que les concentrations en ions soient identiques. On obtient ainsi la solution à demi-épuisée de référence. Elle doit absolument être conservée à l'abri de l'air.

Réalisation du montage

Le circuit imprimé ne pose pas vraiment de problème. On soudera d'abord les résistances, l'ajustable, puis les supports des circuits intégrés, l'afficheur que l'on pourra surélever grâce à des supports tulipes sécables, les condensateurs, le quartz et les deux transistors.

La tresse du câble blindé venant de la sonde sera soudée au pôle (-) comme indiqué sur le schéma d'implantation, l'âme sera connectée au pôle (+).

Le montage peut être alimenté par une pile de 9 V. Deux trous supplémentaires situés en dessous de K1 permettent d'introduire les deux fils du connecteur de l'alimentation et éviter ainsi l'arrachage très fréquent de ceux-ci (voir la photographie du montage).

Le fichier servant à la programmation du PIC s'appelle sonde.hex et le code source sonde.dat, ces fichiers sont téléchargeables sur le site Internet de la revue. N'oubliez pas de valider le fusible PWRT, d'invalider WDT et CP, et de choisir l'oscillateur XT.

Réglages

Connecter la pile de 9 V et alimenter le montage à l'aide de l'interrupteur K1.

L'afficheur AFF1 doit s'allumer. Plonger la sonde dans la solution étalon de perchlore à moitié usagé,

l'agiter un peu pour s'assurer de chasser toute bulle d'air qui aurait pu s'infiltrer sous la cartouche et appuyer alors sur P1 durant une seconde. Relâcher le poussoir, le chiffre 5 (ou bien une oscillation entre 4 et 5) doit s'inscrire sur l'afficheur. L'étalonnage est alors terminé. Il sera préférable de protéger l'accès au poussoir P1 afin de ne pas dérégler par inadvertance le montage, ce qui nécessiterait de tout recommencer. On pourra alors plonger la sonde après l'avoir rincée dans une solution neuve de perchlore : le chiffre 9 doit apparaître. Puis, toujours après l'avoir rincée (les mêmes précautions sont à appliquer que pour celle d'une sonde de Ph-mètre), la plonger dans une partie de la solution épuisée restante. Cette fois la valeur 0 doit s'afficher. Tout ceci est le signe d'un fonctionnement correct.

L'appareil est prêt à mesurer l'état d'épuisement d'une solution inconnue. Il sera intéressant de conserver dans un flacon bien bouché cette solution d'étalonnage pour pouvoir un jour vérifier que la sonde est toujours bien calibrée.

Observations

Notez que toutes les mesures doivent être effectuées à froid, d'abord parce que les potentiels ont été calculés pour une température de 25 °C et que de plus, la gélatine du pont salin ne supporterait pas longtemps d'être

Nomenclature

Résistances

R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R12 : 1 kΩ
 R8 : 2,2 kΩ
 R9 : 100 kΩ
 R10 : 3,3 kΩ
 R11 : 3,9 kΩ
 R13 : 470 kΩ
 R14 : 2,2 MΩ
 R15 : 10 kΩ
 R16, R17, R18, R19, R20, R21 : 4,7 kΩ
 R22, R24 : 1,5 kΩ
 R23 : 75 Ω

Condensateurs

C1, C8, C9, C10, C11, C12 : 100 nF
 C2 : 470 nF
 C3, C4 : 15 pF
 C5 : 1 μF
 C6 : 4,7 μF
 C7 : 100 μF

Semiconducteurs

IC1, IC3 : LM393
 IC2 : PIC16F84
 T1 : BC557
 T2 : BC547
 REG1 : 7805

Divers

K1 : Interrupteur unipolaire simple pour CI.
 P1 : Touche contact D6 (ITT)
 AFF1 : TDSR 5160
 X1 : Quartz 4 MHz

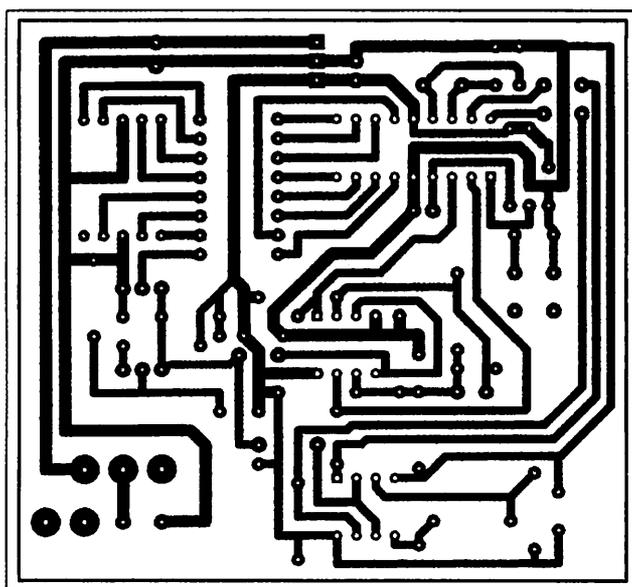
Connecteur pour pile 9 V, câble blindé 1 conducteur, supports de circuits intégrés

Sonde

Une cartouche d'encre petit format
 Une tube en plastique avec un bouchon (Ex tube d'aspirine)
 Sel, sachet de gélatine en poudre
 Fil de cuivre 1,5 mm², tige de graphite d'une pile saline

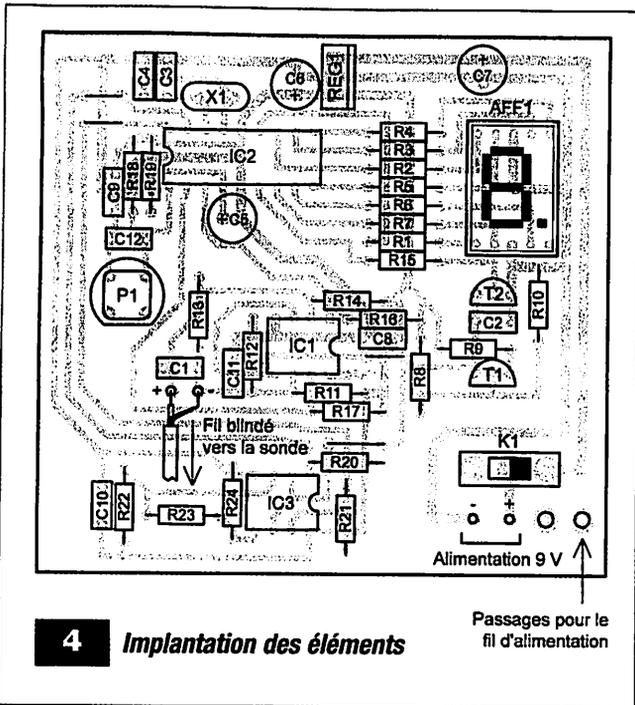
plongée dans une solution de perchlore à 50 °C.

Il faut remarquer que l'oxygène de l'air a une action sur la solution de perchlore, ce qui explique pourquoi toutes les solutions d'étalonnage doivent être conservées à l'abri de l'air. Ainsi, si l'on évalue l'état d'usure d'une solution de perchlore laissée au repos après une gravure, on trouvera peut-être une valeur de l'ordre de 3 à 4 par exemple. Ensuite, après avoir brassé longuement la solution avec une pompe à air, la mesure donnera peut-être cette fois 4 ou 5, tout simplement parce que l'oxygène de l'air aura régénéré l'ion Fe³⁺ en oxydant l'ion Fe²⁺. Cette réaction est



3

Tracé du circuit imprimé



Passages pour le fil d'alimentation

cependant lente dans un milieu acide comme l'est le perchlorure, cette acidité étant rendue nécessaire pour empêcher l'ion Fe³⁺ de précipiter

ignore cet aspect, ce qui n'est pas gênant a priori dans la mesure où les concentrations de ces différents ions sont toutes liées, sauf si beaucoup

sous forme d'hydroxyde de fer Fe(OH)₃. Il existe une seconde cause d'usure du perchlorure, en dehors de la disparition de l'ion Fe³⁺. Il s'agit de l'accumulation d'ion Cu²⁺ qui modifie le potentiel redox du couple Cu/Cu²⁺ et rend la réaction en moins favorable. Mais notre montage

d'ions Fe³⁺ ont été régénérés par oxydation de la solution par l'oxygène. Dans ce cas, le résultat donné par le montage sera un peu optimiste par rapport aux réelles capacités de gravure de la solution. Une colonne du tableau 1 donne une estimation du temps de gravure correspondant au résultat affiché par le montage. Il ne s'agit pas dans ce cas d'un calcul rigoureux, mais de tests effectués sur des échantillons de solutions de perchlorure de diverses concentrations, en prenant comme référence un temps de gravure, pour une solution neuve, de 4 minutes. D'autres paramètres comme l'uniformité du brassage de l'eau dans la cuve ainsi que l'égale répartition de la température peuvent modifier ces temps en ralentissant l'action du perchlorure de fer sur certaines zones des plaques de cuivre qui y sont plongées.

O. VIACAVA

VINCULUM

Micro contrôleur avec 2 USB M/E

- µC 8/32 bit avec 64K Flash, 4K Sram
- 2 ports USB Maître ou esclave
- Liaison UART, SPI ou FIFO parallèle
- 28 I/O, 25 mA
- LOFP-48, ROHS
- Encapsulation des classes USB (Flash disque)
- Kits disponibles

PROMOTEUR

Finix Tiger II

Ordinateur Multitâches, Bus Can, Ethernet ...

- 2^e génération
- 2 MByte flash programme
- 1 Mbyte SRAM
- 40 Entrées Sorties
- 2 Ports Série
- 12 Voies Analogiques 10 bits
- Bus CAN 2.1, I2C, SPI
- 2 voies PWM, RTC
- Emulateur Intégré
- Téléchargement des programmes
- Support technique gratuit

PROMOTEUR

EBCONNECTIONS
3 Rue St Vincent Paul
89420 Ramby
Tel : 0820 900 021
Fax : 0820 900 126

www.ebconnections.com

arquie composants

Rue de écoles 82600 Saint-Sardos France
Tél. 05 63 64 46 91 Fax 05 63 64 38 39
SUR INTERNET <http://www.arquie.fr/>
e-mail : arquie-composants@wanadoo.fr

Catalogue N°64

- Afficheurs. Alimentations.
- Caméras. Capteurs.
- Cartes à puces. Circuits imprimés. Circuits intégrés.
- Coffrets. Condensateurs.
- Cellules solaires.
- Connectique. Diodes. Fers à souder.
- Interrupteurs. Kits.
- LEDs. Microcontrôleurs.
- Multimètres. Oscilloscopes.
- Outillage. Programmateurs.
- Quartz. Relais. Résistances.
- Transformateurs. Transistors. Visserie. Etc...

Passez vos commandes sur notre site : www.arquie.fr

BON pour CATALOGUE papier FRANCE: GRATUIT (3,00 € pour DOM, TOM, UE et autres pays)

Nom: Prénom:

Adresse:

Code Postal: Ville:

Carte USB de démo à bas² coût

Retrouver sa voie dans l'USB

Martin Valle

Grappe futés, données analogiques qui se muent en graphiques, appareils et cadrons comme dans un avion, le tout en USB... Mais comment font-ils ?

L'USB vite fait, bien fait

- 2 entrées analogiques (1 sur potentiomètre)
- 2 entrées numériques (interrupteurs)
- 4 sorties numériques (LED)
- 1 (une seule) puce : le PIC18F4550 (disponible programmé pour vous)
- Éventail complet des blocs de construction du logiciel
- Logiciel de projet pour Builder C++ 6
- Programme Demo pour convertisseur A/N avec affichage graphique et numérique

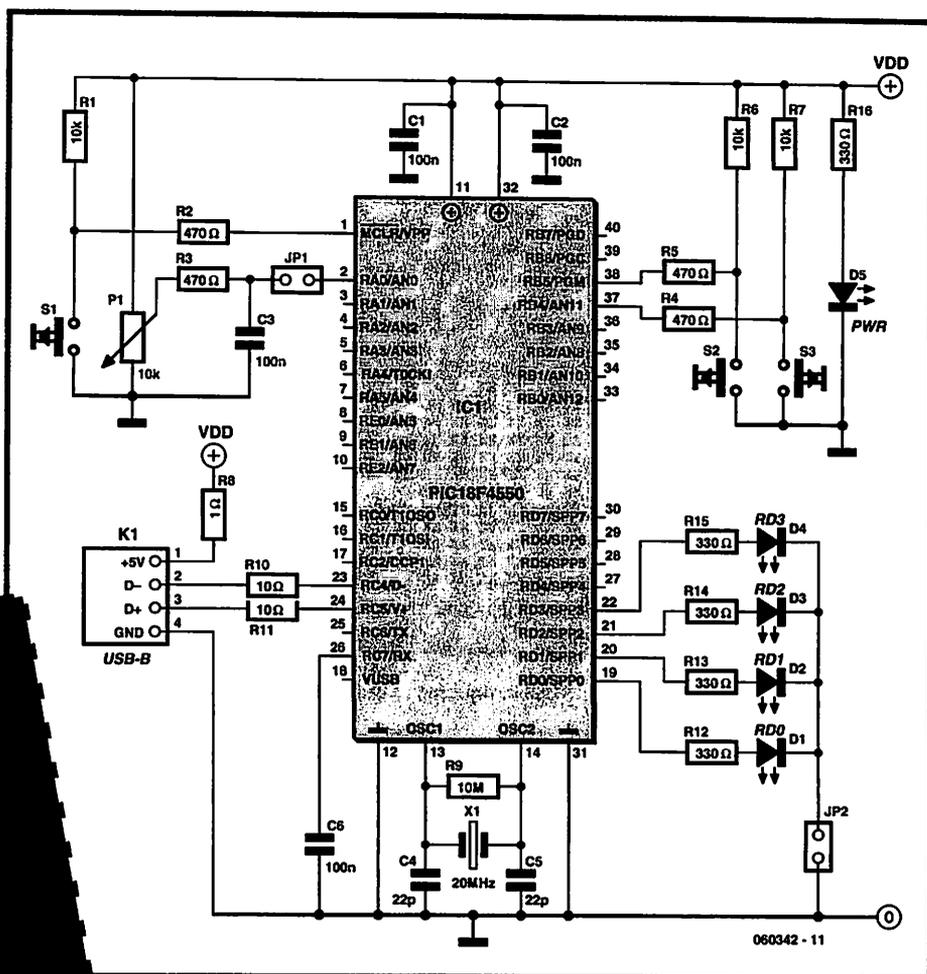


Figure 1. Le schéma de la carte démo USB.

Comme ceci : une simple carte, branchée au PC par câble USB et qui exhibe un microcontrôleur PIC de pointe. Ajoutez-y ce qu'il faut de logiciel et votre carte démo USB se transforme en système de développement pour vous faire découvrir comment l'USB s'est greffé sur un microcontrôleur programmé à traiter des E/S analogiques et numériques pour de vraies applications de tous les jours.

Matériel

Au centre du circuit de la figure 1, on trouve un microcontrôleur PIC18F4550 de Microchip. Il jouit de la connectivité USB... si vous savez comment vous en servir ! Le processeur est scandé à 20 MHz par le quartz X1. Les interrupteurs (sauf S1), les LED (sauf D5) et le potentiomètre connectés au PIC micro seront vos appareils d'E/S (entrée/sortie) de base.

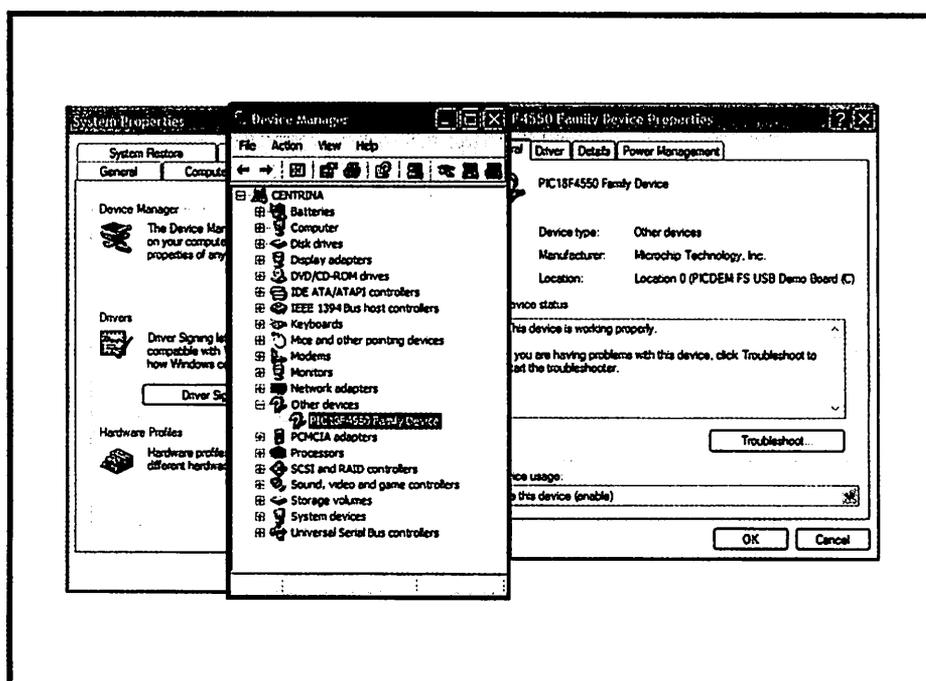


Figure 2. Panneau de configuration arborant l'installation de la carte PICDEM FS USB Demo.

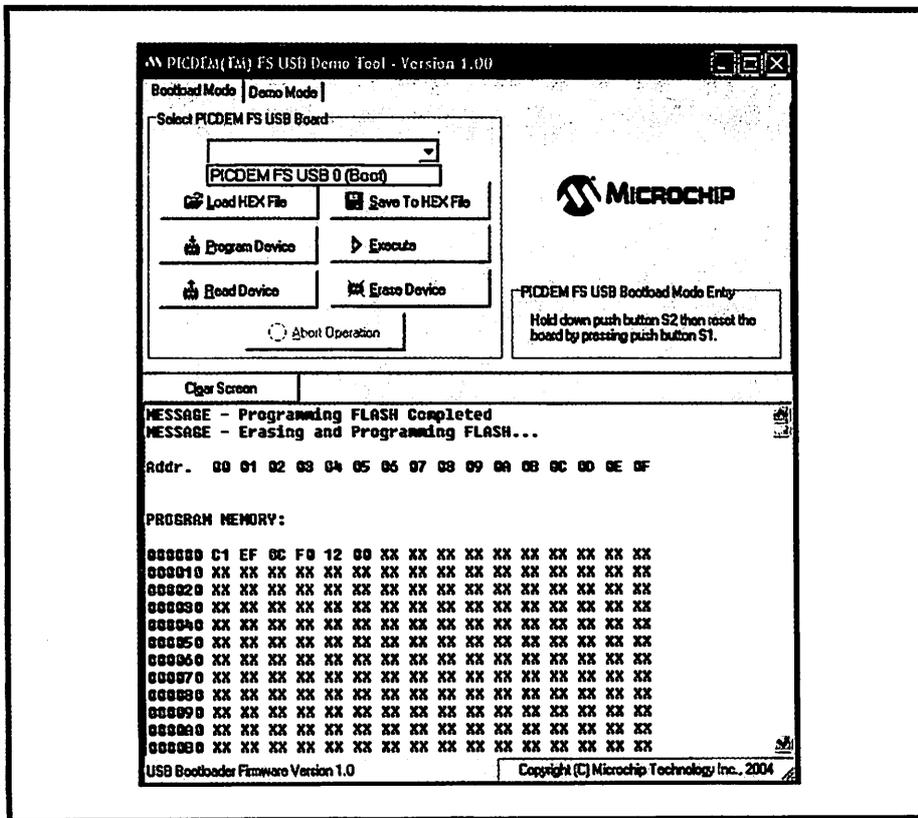


Figure 3. L'outil PICDEM FS USB indiquant l'appareil (la carte) connecté.

Vous ne devriez avoir aucune difficulté à assembler le tout sur un morceau de platine pour prototype ou de Veroboard (perforé ou à bandes).

Logiciel

En contraste flagrant avec le matériel minimum, le logiciel pour ce projet est très

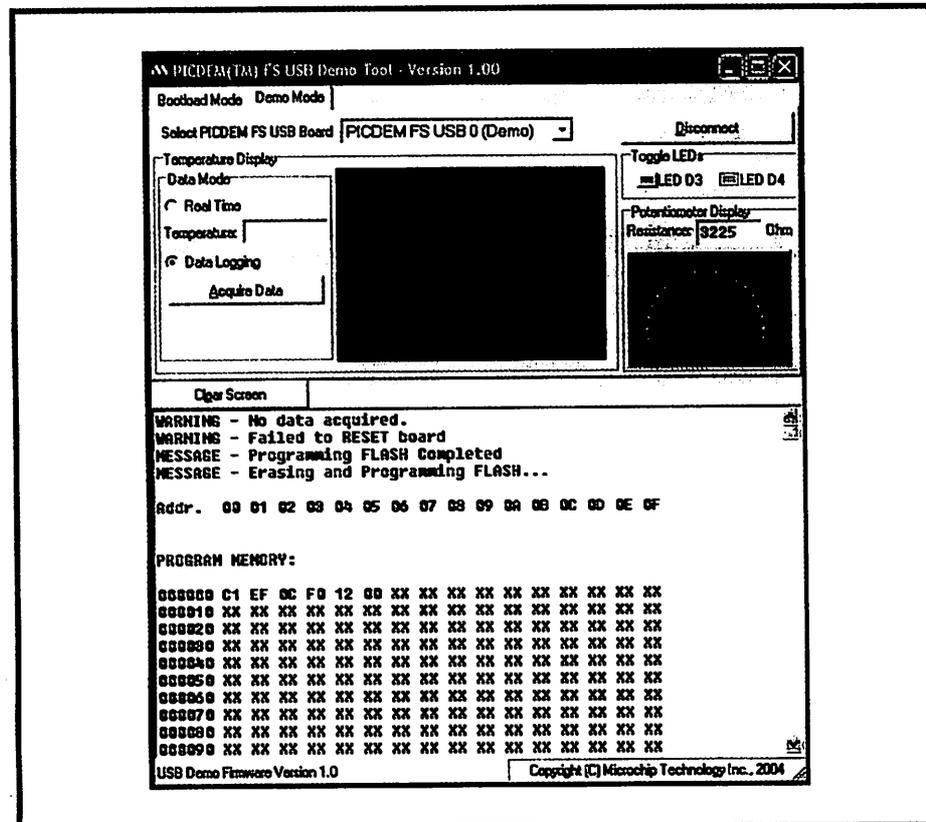


Figure 4. Mode Demo de l'outil Pdfusb.

vaste. Le plaisir, c'est qu'il est disponible gracieusement sur le site web d'Elektor sous le numéro d'archive **060342-11.zip**. Le programme tout prêt est aussi à votre disposition, mais via l'e-choppe d'Elektor sous la référence **060342-41**. Il y a en réalité quatre fichiers zippés :

MCHPFSUSB.zip contient tous les composants du projet que l'on peut télécharger gratuitement chez Microchip plus le projet spécial pour le microcontrôleur, la version de démonstration du logiciel et l'amorce de chargement qui cause : « talker ».

Project.zip contient tous les fichiers nécessaires pour réaliser le projet en Builder C++ 6.

REQUIRED.zip contient les fichiers de *project.zip* que vous aurez à copier si vous voulez lancer un nouveau projet.

Without builder.zip contient tous les fichiers nécessaires pour tourner le fichier .exe sans avoir installé Builder sur votre ordinateur.

Voici comment exécuter le logiciel.

1. Extraire le fichier MCHPFSUSB.zip dans le répertoire racine C:\ Vérifiez qu'il n'y a pas de doublon du classeur MCHPFSUSB du genre :

C:\MCHPFSUSB\MCHPFSUSB\repe rtoire_xx,

à la place de :

C:\MCHPFSUSB\répertoire_xx.

2. En utilisant un appareil adéquat, programmer le microcontrôleur PIC18F4550 par le fichier : C:\MCHPFSUSB\fw\factory_hex\picdemfsusb.hex. La puce est aussi disponible déjà programmée.

Réveil du F4550

Quand vous avez réalisé le projet et vérifié qu'il n'y a pas d'erreur, vous pourrez connecter l'USB à l'hôte. Lors de la première connexion, Windows XP est préférable. Dès le branchement de la carte sur l'hôte, les LED D0 et D1 commencent à clignoter, puis l'hôte détecte l'appareil comme « PICDEM FS USB Demo Board © 2004 » et demande s'il y a des pilotes à bord. Sélectionnez alors les pilotes voulus situés en :

C:\MCHPFSUSB\Pc<MCHPUSB Driver\Release\

Windows va encore se plaindre que l'appareil ne réussit pas le test du logo Windows. Ignorez ses lamentations et continuez simplement l'installation de l'appareil.

Vous pouvez vérifier la bonne installation par une exploration dans le Gestionnaire de périphériques de Windows, il devrait ressembler à la **figure 2**. Maintenez enfoncé le bouton S3 (RB4) et mettez à zéro le microcontrôleur en poussant et lâchant S1. Cette procédure entraîne le microcontrôleur en mode « chargeur d'amorce ». L'hôte va détecter un nouvel appareil et il vous faudra répéter la procédure d'installation avec le pilote assis à la même place :

C:\MCHPFSUSB\Pc<MCHPUSB
Driver\Release1

À partir de maintenant, vous pouvez charger de nouveaux programmes dans le microcontrôleur à l'aide du chargeur d'amorce en utilisant les poussoirs S3 et Mise à zéro.

L'application sur le PC qui communique avec le chargeur d'amorce est le fichier exécutable :

C:\MCHPFSUSB\Pc\pdfsubsl
PDFSUBS.exe.

L'outil Pdfsubsl doit apparaître dans la fenêtre de connexion exactement comme à la **figure 3**.

Mode démo et chausse-trappes

Si vous mettez la carte à zéro sans garder le doigt sur S3, le microcontrôleur va exécuter le programme en mémoire, donc pas le chargeur d'amorce. Idem si vous cliquez sur le bouton « / Execute » dans l'application. C'est pourquoi le premier appareil détecté par l'hôte n'a pas été le chargeur d'amorce. C'était un programme de test avec l'autre partie de l'outil Pdfsubsl (mode démo), il s'agit du bouton en haut, à gauche, à l'intérieur du mode Bootload.

Ce mode est représenté à la **figure 4**. Il permet la lecture de la position approximative du potentiomètre connecté à RA0, commande l'état des LED branchées sur RD2 et RD3 et mesure la température d'un capteur SPI qui n'est pas encore relié à la carte (aussi, ne tenez aucun compte de la température affichée).

Le micrologiciel Demo utilise quelques broches pour vérifier la tension principale sur l'USB (ceci n'est pas représenté dans le schéma). Il arrive que cette vérification rate après connexion de l'appareil à l'ordinateur.

Heureusement, l'erreur ne vaut que pour le micrologiciel Demo, pas pour le chargeur d'amorce. Il y a une manière aisée d'éviter ceci. Dans chaque projet inclus dans le dossier MCHPFSUSB, il y a un fichier C:\MCHPFSUSB\fw\project_name_folder\autofiles\usbcfg.h. Il contient les déclara-

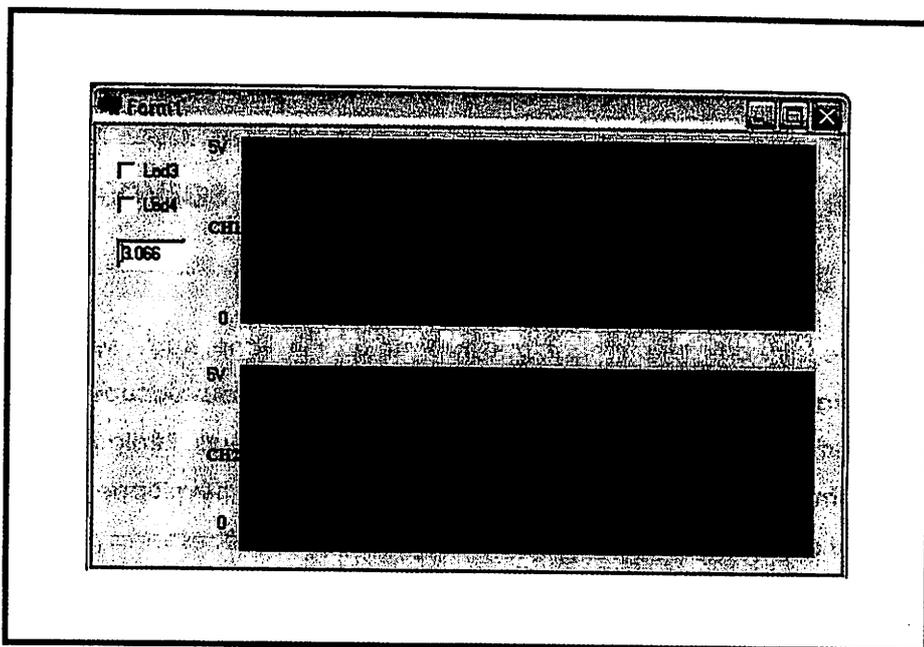


Figure 5. Deux canaux ADC (convertisseur A/N) et l'USB du PIC en pleine action.

tions qui causent le problème. Il suffit de transformer en commentaire (//) les deux définitions SENSE_IO comme le montre le **listage 1**.

Quand vous l'aurez fait, vous pourrez recharger le projet Demo ou n'importe quel autre de ce sujet, et tout marchera convenablement.

On y va, Letsgo ?

Maintenant, il est temps d'explorer l'exemple d'application. Comme antérieurement, mettez le microcontrôleur à zéro tout en enfonçant S3 pour exécuter le chargeur d'amorce et transférez dans le microcontrôleur le fichier hex situé dans :

C:\MCHPFSUSB\fw\Hid02_output/
NICAPM.hex

À présent, lancez le programme.

Vous pouvez tourner l'application pour PC directement, sans avoir à installer C++ Builder 6 sur l'ordinateur, à condition d'uti-

liser l'attirail du nom de « Without builder.zip ». De toute évidence, le microcontrôleur doit être branché sur l'hôte et exécuter le micrologiciel NICAPM.

La fenêtre de l'application demo devrait ressembler à la **figure 5**, qui montre les signaux sur le canal 0 (AN0, broche 2) et le canal 1 (AN1, broche 3). Il y a aussi un fichier d'archive appelé project.zip si vous désirez modifier quelque chose dans le projet PC.

Voulez-vous entamer un nouveau projet Builder ? Il ne vous faudra veiller qu'à deux choses :

1. Ajouter le fichier hid.lib en faisant :
Project → Add to project → hid.lib

2. Changer l'alignement des données de mots, de Quad en octet, en faisant :
Project → Options → Advanced Options
→ Data alignment.

(060342-1)

Listage 1.

```

/** DEFINITIONS *****/
#define EPO_BUFF_SIZE      8 // 8, 16, 32, or 64
#define MAX_NUM_INT        1 // For tracking Alternate Setting

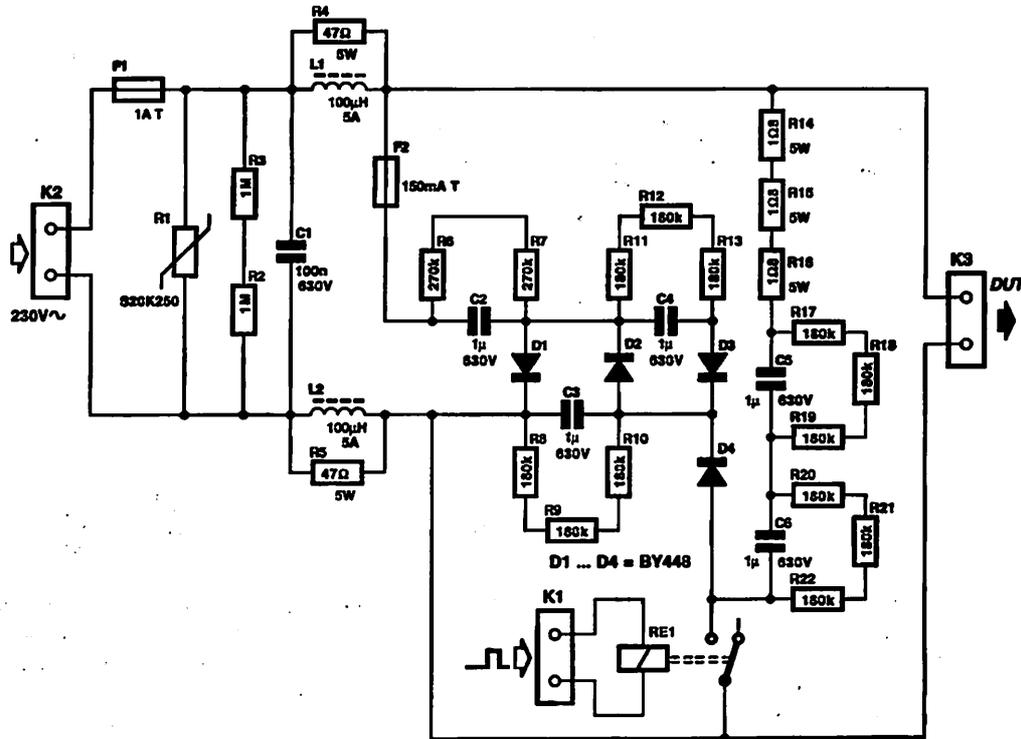
/* Parameter definitions are defined in usbdrv.h */
#define MODE_PP             _PPBMO
#define UCFG_VAL            _PUEN|_TRINT|_FS|MODE_PP

// #define USE_SELF_POWER_SENSE_IO
// #define USE_USB_BUS_SENSE_IO

```

GÉNÉRATEUR DE TRANSITOIRES

Publitronic "307 circuits"



Le présent montage permet l'injection, dans le réseau secteur, d'impulsions à forte énergie (des transitoires). Cette approche peut, dans le cadre de test de CEM (Compatibilité ElectroMagnétique), constituer un instrument de test pour des circuits alimentés par le secteur. L'énergie électrique injectée atteint 0,25 J, la durée de demi-période est $>2,5$ ms et l'intervalle de répétition de 200 ms.

La génération de la haute tension nécessaire se fait passivement et partant simplement. Les condensateurs C2 à C4 et les diodes D1 à D3 constituent un circuit en cascade qui transforme la tension du secteur en une haute tension. Les condensateurs C5 et C6 terminent cette cascade, constituant le réservoir d'énergie. Dans le cas d'un dimensionnement bien pensé la tension aux bornes de ces deux condensateurs peut atteindre de l'ordre de 1000 volts. Les résistances R17 à R22 assurent une répartition équilibrée de la haute tension sur les deux condensateurs. Toutes les résistances prises dans l'échaffaudage, R6 à R22, permettent en outre, lors de la disparition de la tension du secteur, une décharge rapide des condensateurs jusqu'à un niveau de tension inoffensif. Les tensions dans la cascade pouvant atteindre des valeurs élevées, nous avons utilisé des diodes du type BY448 (tension inverse maximale admissible de 1 500 V).

Le secteur est séparé de la cascade par un filtre secteur efficace constitué par L1, L2, C1, R4, R5 et le varistor R1. On évite par son intermédiaire une rétro-action du montage sur le secteur.

L'injection des signaux transitoires est, à partir de là, simple : dès activation du relais Rel (on appliquera pour ce faire une tension de 6 V sur le bornier K1), l'énergie stockée dans les condensateurs C5 et C6 est appliquée sur le réseau secteur de l'appareil à tester. Un appareil bien conçu ne devrait pas avoir de problème avec cette injection. Bien que le type de relais utilisé soit légèrement sousdimensionné par la présente application, il devrait pouvoir, dans le cas d'une utilisation occasionnelle, rendre service longtemps.

Un autre montage de ce livre, « synchronisateur de transitoires secteur », montre comment piloter un relais de façon synchrone avec le secteur. Il permet de choisir avec précision l'instant

L'interrupteur S 1 assure la fonction de marche / arrêt pour le synchronisateur.

« 0 ». Le conducteur central qui fournit le courant de traction à la locomotive est par ailleurs isolé du reste de l'installation (il existe des isolateurs du conducteur central spécialement conçus à cet effet) et est relié au pupitre de commande ou à l'amplificateur par la connexion du courant de traction « B » (*Bahnstrom*). Si une locomotive pénètre dans la section de voie surveillée, la composante positive du courant de traction passe par les diodes D1 et D2, la composante négative par D3. Si le courant du moteur est de l'ordre de 250 mA, la chute de tension aux bornes

d'une diode (ici des 1N4001) atteint 1 V ou plus. La chute de tension aux bornes des diodes D1 et D2 en cascade suffit à allumer LED1. Le ralentissement de la locomotive dû à la chute de tension est trop faible pour être gênant. Une diode supplémentaire, comme dans la **figure 2**, permet d'alimenter un deuxième affichage. Cette deuxième LED s'allume lorsque le courant de traction est négatif. Les groupes d'impulsions et les fluctuations du courant de traction provoquent un scintillement plus ou moins prononcé

des LED. D'autres consommateurs de courant de traction (éclairage des wagons, signal de queue) provoquent l'affichage « Occupé ». En ce cas, la LED ne s'éteint pas, même lorsque la locomotive est à l'arrêt et ne consomme pas de courant. Parfois, le courant résiduel passant par le décodeur suffit à faire (faiblement) briller les LED lorsque la locomotive est à l'arrêt. Il est aussi possible de remplacer une LED par un opto-coupleur. Cela devrait même permettre de raccorder un module de rétrosignalisation S88.

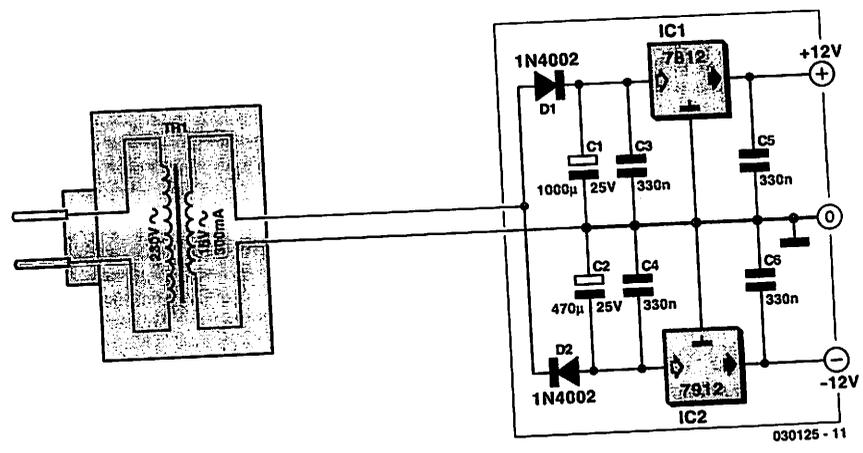
(030100-1)

Adaptateur secteur à sortie symétrique

Flemming Jensen

D'innombrables modèles d'adaptateurs secteur (aussi dénommés « blocs d'alimentation secteur » ou « blocs d'alimentation enfichables ») sont utilisés dans presque chaque foyer et bureau. Mais essayez un peu d'en trouver un avec sortie symétrique, par exemple ± 12 VDC. Le connecteur de sortie d'un tel spécimen, si celui-ci existe, serait d'un type peu ordinaire à 3 broches !

Cet article offre une autre solution : un adaptateur secteur du genre « sortie AC » combiné à un simple circuit complémentaire monté dans l'appareil nécessitant la tension symétrique. Un adaptateur 15 VAC fournit le courant nécessaire à une alimentation symétrique ordinaire comportant des redresseurs monophasés



(D1 et D2) et 2 régulateurs de tension 12 volts, plus les condensateurs de stockage (C1 et C2) et de découplage (C3 à C6) usuels. Comme il suffit de 2 fils pour

raccorder l'adaptateur à l'alimentation, il est possible d'utiliser un couple prise/fiche parfaitement banal.

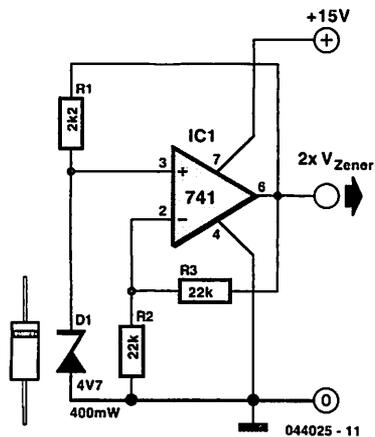
(030125-1)

Zener stable

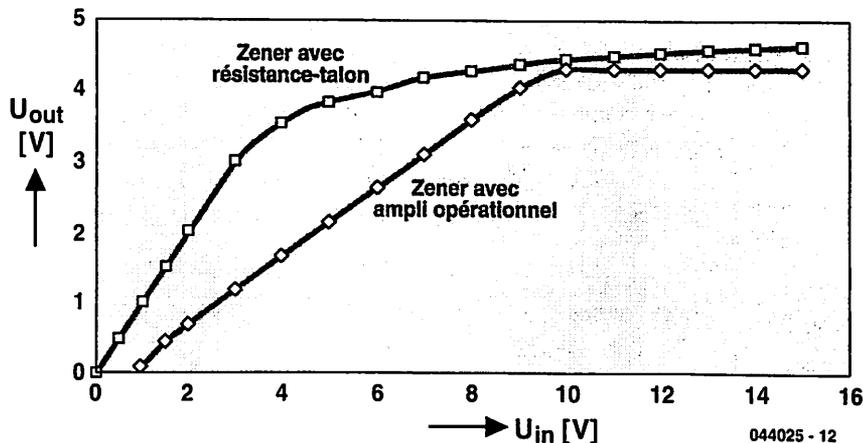
On trouve aujourd'hui d'excellentes références de tension. Prenons par exemple le LM385. On peut s'en procurer de différentes tensions et il en existe même une version réglable. En outre, le courant consommé peut être très petit, comme 10 μ A. Mais bien sûr, au moment où il en faut, vous n'en avez pas sous la main...

On peut prendre une zener ordinaire comme référence, malheureusement sa résistance interne est plus grande, environ 5 Ω , ce qui la rend assez instable si la tension d'alimentation varie. Il y a une solution : utilisons la tension de zener stabilisée comme alimentation ! Ce n'est possible, évidemment, que si la ten-

sion stabilisée est plus grande que celle de la Zener. Il nous faut donc amplifier. C'est exactement ce que fait le montage : il offre un gain de deux. Il nous reste à choisir la résistance série de la zener pour y faire circuler un courant de 1 à 3 mA. Les fabricants spécifient généralement la tension de l'effet zener pour un courant



de 3 ou 5 mA. La zener s'alimente à la tension stabilisée et son point de fonctionnement est donc très stable, indépendamment des variations de l'alimentation. Le graphe est éloquent à cet égard, la tension de sortie est visiblement plus constante. Pour faciliter la com-



paraison, les deux courbes ont été superposées, mais en réalité, la tension de sortie de l'amplificateur opérationnel vaut deux fois celle de la zener. Les diodes zener présentent aussi un coefficient de température, qui est le plus bas pour des tensions d'effet zener voi-

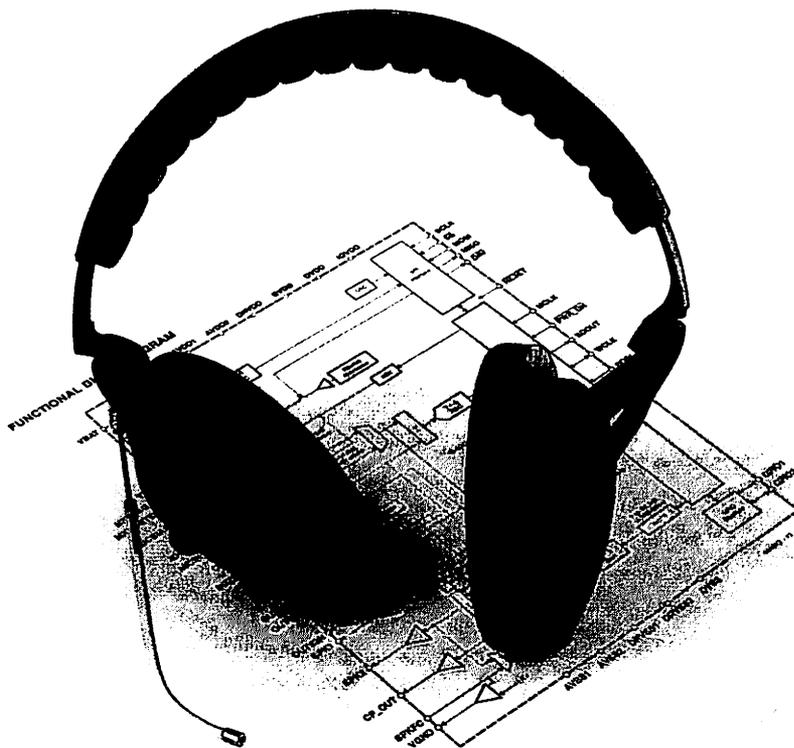
sine de 5 V. Comme amplificateur opérationnel, vous pouvez prendre n'importe quel type, même un ancêtre comme le 741 convient parfaitement.

(044025-1)

Codec complet

Les appareils d'audio numérique sont, la plupart du temps, dotés d'un convertisseur N/A (numérique/analogique, CNA) et d'un convertisseur A/N (analogique/numérique, CAN). Dans la pratique, on utilise à cet effet un codec (*coder/decoder*). Il s'agit d'un circuit intégré intégrant les 2 convertisseurs, doté dans bien des cas, d'une entrée et d'une sortie pour audio numérique, I²S par exemple. Outre ce codec, on souhaite souvent disposer d'une entrée pour microphone et d'une sortie pour casque d'écoute.

Texas Instruments propose un nouveau codec, le TLV320AIC28, doté d'un préamplificateur pour micro et d'un amplificateur pour casque d'écoute d'une puissance de 400 mW. Il intègre un certain nombre de fonctions pratiques telles qu'une paire de broches d'E/S pour, par exemple, une commande par bouton, détecteur de microphone, égaliseur, etc. L'ensemble convient à merveille pour être utilisé en combinaison avec des ensembles casque d'écoute + micro (*headset*). Le circuit intégré se laisse piloter par le biais d'une interface SPI, ce qui signifie que la plupart des microcontrôleurs peuvent communiquer sans pratiquement le moindre problème avec ce codec. L'interface audio est en mesure, nous le dis-



ions, de traiter un signal I²S, mais comme c'est le cas avec la plupart des

codecs, le concept de l'interface audio est très flexible, et ce composant est en

Et oui la récupération d'une alimentation de PC peut effectivement être employé pour l'alimentation de commande MM2001 ou BB2001

Câblage d'une prise d'alimentation pour carte ATX

Prise vu coté broches

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
20	19	18	17	16	15	14	13	12	11

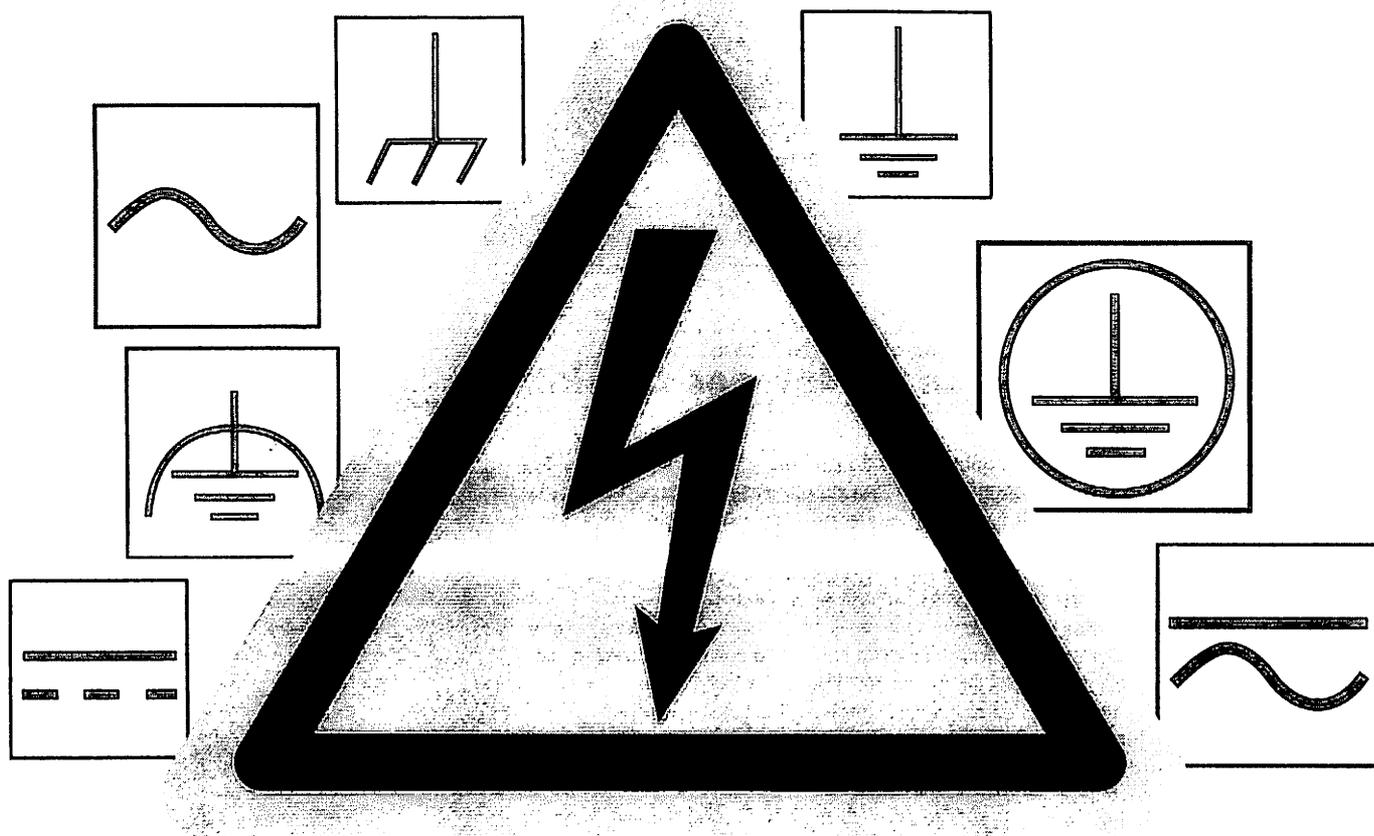
N° DES BROCHES	FONCTIONS	COULEURS
3-5-7-13-15-17	GND	NOIR
1-2-11	3.3 V	ORANGE
4-6-19-20	VCC	ROUGE
10	+ 12 V	JAUNE
12	- 12 V	BLEU
18	- 5 V	BLANC
8	POWER GOOD	VIOLET
9	STAND BY + 5 V	GRIS
14	PS - ON	VERT

Pour faire fonctionner l'alimentation, relier la broche 14 (VERT) à la masse 13 (NOIR).

Pour avoir de la puissance sur le 12 V, mettre une charge sur le VCC (ROUGE), une ampoule de voir une résistance de 4.7 Ohms 8 W

Sans risques et bon

Martin Ossmann



Comment faut-il réaliser un circuit pour qu'il soit, en fonctionnement, parfaitement sûr. Pour en savoir plus, nous avons soulevé le capot d'un certain nombre d'appareils. Intéressant de découvrir les solutions adoptées par les pros en cette époque de réduction de coûts et de miniaturisation à tout crin.

Il va sans dire que lors du développement de circuits et d'appareils, le concept sécurité ait la priorité. Primo, personne ne doit, en cours de fonctionnement, courir le moindre danger. Il faut en outre que l'appareil fonctionne en toute sécurité quelles que soient les circonstances. Pour finir, il ne doit pas, en cas de panne, provoquer de dégâts et ne pas endommager d'autres appareils.

Arriver à faire en sorte que « son » appareil remplisse ces exigences (ainsi que toutes les autres), constitue souvent un vrai défi. Les ingénieurs de l'industrie connaissent ces problèmes, leur mission étant de créer des appareils quasi « indestructibles ». Pourquoi n'ouvririons nous pas quelques appareils et ne nous mettrions nous pas à l'école des professionnels ?

Réduction des coûts

Commençons par nous intéresser aux mesures destinées à protéger l'utilisateur contre les « chocs électriques ». Bien souvent cela se résume à éviter qu'il ne soit possible d'entre en contact avec une pièce se trouvant sous tension, la dite tension dangereuse étant dans la plupart des cas, celle du secteur. Normalement, les lignes électriques et les composants sont dotés à l'origine d'une isolation que les normes qualifient d'« isolation de base ». On est d'avis aujourd'hui que la fiabilité de l'isolation de base laisse à désirer et qu'il ne doit pas y avoir de risque même au cas où elle s'avérerait défectueuse. On peut le faire en prévoyant des mesures de protection additionnelles (isolation supplémentaire, coffret à mise à la terre,

marché Examen critique d'appareils électroniques

etc.) prenant la forme d'une isolation de sécurité. Jetons tout d'abord un coup d'oeil à l'intérieur d'un lecteur de CD (**figure 1**). S'il faut en croire l'étiquette (**figure 2**), cet appareil est un classe II. Il ne comporte par conséquent pas de contact de terre. On constate que le câble secteur est connecté directement au transformateur. L'interrupteur marche/arrêt se trouve ainsi au niveau du secondaire : il peut de ce fait être un composant de type basse-tension. Le fabricant a prévu partout une isolation soignée. Toutes les pièces véhiculant la tension du secteur sont dotées d'une isolation additionnelle. Le transfo comporte 2 parties soigneusement isolées. Il n'y a pas de sque de point faible même en cas d'endommagement de la laque d'isolation d'un enroulement. Le primaire ne comporte pas, dans ce concept, de fusible, une concession à la réduction des coûts de fabrication. Ceci est uniquement possible avec des transformateurs conçus à cet effet et la prise des précautions correspondantes au secondaire ! L'un des inconvénients de cette approche est que le transformateur secteur se trouve en permanence sous tension, ce qui se traduit par une consommation de fonctionnement *standby* élevée.

Analyse du transfo

Les transformateurs secteur remplissent une tâche importante quant à l'isolation du circuit du réseau secteur. Pour une construction de sécurité des transfos 50 Hz classique, on utilise des noyaux de bobines à chambres (**figure 1**) qui respectent toutes les normes concernant les trajets de fuite et autres exigences. De nos jours, on utilise de plus en plus souvent des alimentations à découpage permettant d'utiliser des transfos de taille plus faible.

Ceci explique que nos regards soient tombés sur le transfo de l'une ou l'autre alimentation à découpage. La **figure 3** nous montre un transformateur torique utilisé dans un circuit d'alimentation pour ampoules halogènes basse-tension et qui constitue l'isolation galvanique. L'enroulement du primaire se trouve au coeur du manteau de plastique. Un corps de bobinage spécial évite que les enroulements du primaire et du secondaire ne soient jamais trop près l'un de l'autre. Les écarts dans l'air et au coeur du matériau d'isolation sont jugés différemment. On peut dire, en général, qu'il est plus facile de réaliser une isolation à base de matériau d'isolation. Il faut alors veiller à ce que les trajets de fuite au niveau des fentes à air soient suffisamment longs. Sur ce transfo, l'enroulement du secondaire n'est pas doté de quelque autre isolation que ce soit.

On pourra, si l'on veut, sans trop compliquer les choses, assurer des écartements suffisants, utiliser des corps de bobine spéciaux, du type de celui représenté en **figure 4**. Les enroulements du primaire et du secondaire sont bobinés sur 2 corps distincts. Des collerettes au niveau des parties frontales assurent des trajets de fuite suffisants. Il est facile de cette façon de remplir les normes de sécurité. Mais cette approche présente également des inconvénients. Ces corps de bobine coûtent cher; les transfos sont souvent plus encombrants qu'ils ne devraient

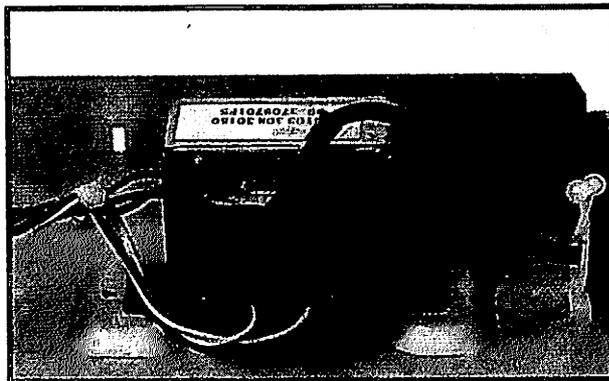


Figure 1. Coup d'oeil au coeur d'un lecteur de CD.



Figure 2. Identificateur d'un produit de classe II.

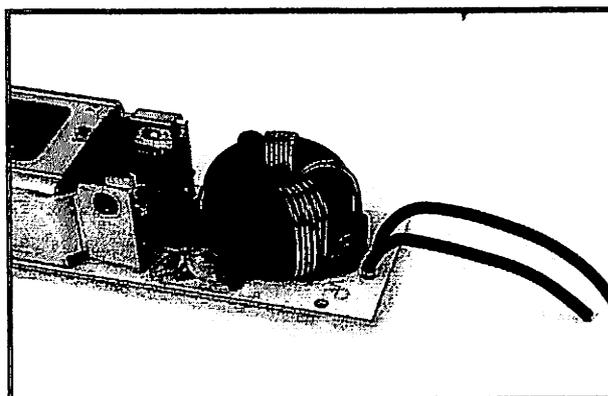


Figure 3. Le transfo torique au coeur d'un « transfo pour éclairage halogène ».

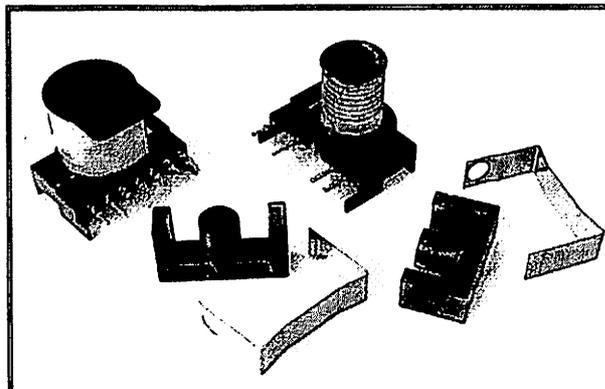


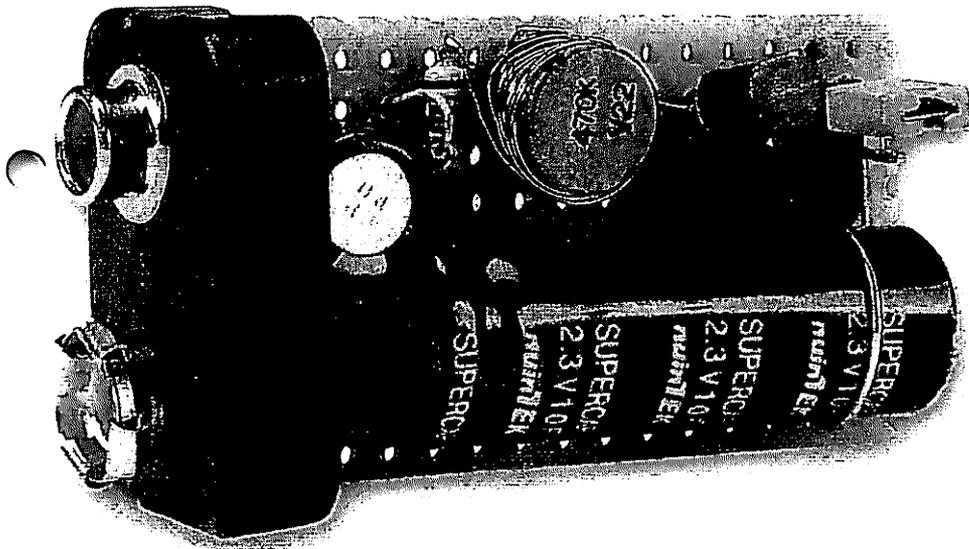
Figure 4. Corps de bobinage à isolation intégrée.

Condensateur en accumulateur

Goldcap pour stockage d'énergie

Burkhard Kainka

Les Goldcaps constituent, avec leur énorme capacité, une alternative intéressante aux piles jetables et aux accumulateurs. Ils se laissent recharger très rapidement et peuvent être déchargés à un courant élevé. Leur seul inconvénient est de n'être conçu que pour des niveaux de tension faibles. Cependant il suffit d'un peu d'électronique pour résoudre de tels problèmes.



On trouve les piles compactes de 9 V dans des appareils à la consommation de courant faible et n'étant mis en fonction qu'occasionnellement. On ne sera partant guère étonné que la pile soit épuisée au moment précis où on en a le plus besoin. Il ne sert à rien dans ce cas-là non plus d'envisager l'utilisation d'accumulateurs CdNi vu que ce type d'accu supporte encore moins bien des périodes de déchargement longues qu'une pile ordinaire. Une Supercap peut être la solution à ce genre

de problème vu qu'elle se laisse recharger très rapidement lorsque le besoin s'en fait sentir et qu'elle reste prête à rendre ses services même des années plus tard. Un petit convertisseur de tension rehausse la tension fournie par le condensateur à 9 V. De par la compacité d'une Supercap de 10 F/2,3 V, l'ensemble, électronique comprise, pourra prendre place sur une platine dont la

taille n'excède pas celle d'une pile compacte de 9 V.

Contrairement à ce qui est le cas avec les accumulateurs, les condensateurs acceptent d'être chargés et déchargés très rapidement (à ces courants de crête élevés), leur auto-décharge étant faible. Un condensateur est un dispositif de stockage d'énergie presque idéal, témoin son utilisation dans les flashes. Aucune pile ni accumulateur de taille équivalente n'est capable de fournir une quantité d'énergie aussi importante. Autre avantage, la charge et la décharge se font quasiment sans perte d'énergie. Il n'en faut cependant pas cacher un inconvénient : une prise d'énergie se traduit par une diminution de la tension aux bornes du condensateur. De ce point de vue, un accumulateur présente un comportement plus intéressant vu qu'il garde, pendant un certain temps, quasiment constante la tension qu'il fournit avant que celle-ci ne chute rapidement en fin de décharge. Il n'est partant envisageable de substituer un condensateur à un accumulateur qu'à condition d'utiliser un

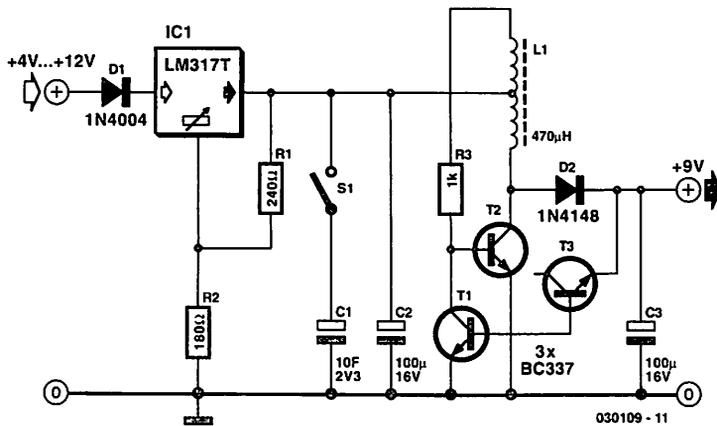


Figure 1. L'électronique de notre accumulateur à Goldcap.

Convertisseur de tension régulateur capable de fournir une tension de sortie stable.

Avec convertisseur bloqueur

Le montage décrit ici et dont la figure 1 donne le schéma utilise une Supercap de 10 farads seulement (ce qui n'en correspond pas moins à 10 000 000 μF !), sa tension de service maximale étant de 2,3 V. Le convertisseur de tension rehausse la tension de sortie à quelque 9 V. Un petit interrupteur ou un cavalier monté sur la platine permettent de faire en sorte, le cas échéant, que le condensateur de stockage conserve son énergie pour une durée plus longue. Le montage comporte en outre un circuit de charge de sorte que l'on pourra brancher l'accumulateur Supercap à pratiquement n'importe quelle source de courant. Un régulateur de tension ajustable, un LM317T, évite toute surcharge de la Supercap. Ce régulateur intègre en outre une circuiterie de limitation

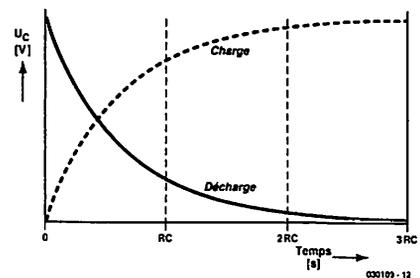
de courant et un dispositif de thermo-protection. Si l'on utilise, pour la recharge, un adaptateur secteur, c'est la résistance interne de ce dernier qui détermine le courant de charge. Dans le cas d'un courant de charge de 1 A, il faut de l'ordre de 20 s pour recharger l'« accu » !.

Le circuit comporte un convertisseur bloqueur régulé utilisant une petite bobine. Cette dernière prend la forme d'une self de 470 μH à corps de ferrite sur laquelle auront été bobinées une vingtaine de spires. Cette self se doit d'avoir une résistance ohmique faible (inférieure à 1 Ω). Avec ce type de bobine, les 2 extrémités de l'enroulement interne bobiné sur le noyau sont soudées aux broches de soudage de la self. On ajoute 20 spires de fil de cuivre émaillé plus fin bobinées dans le même sens de bobinage en vue de constituer la contre-réaction du convertisseur bloqueur (figure 2). On peut également, supprimer le bobinage d'origine et bobiner 40 spires de fil de cuivre émaillé en veillant à prévoir une prise intermédiaire cen-

Mesure de la capacité

En présence de capacités de 1 farad ou plus, la quasi-totalité des capacimètre jette le gant. Comment faut-il partant s'y prendre pour déterminer la capacité d'une Goldcap ou d'une Supercap ? Pas de problème pour peu que l'on revienne aux bases et que l'on opte pour une mesure « physique » de la capacité. Tout ce dont on a besoin pour cela est un voltmètre, une montre et une résistance.

Branché sur une résistance de valeur fixe, un condensateur ne se décharge pas de façon linéaire mais exponentiellement. La courbe de décharge ne cesse de s'aplanir vu qu'une tension plus faible se traduit par la circulation d'un courant moindre. De ce fait, théoriquement, le condensateur ne se décharge jamais complètement. La constante de temps $\tau = R \cdot C$ est un facteur intéressant dans ce cadre. Après écoulement de cette durée, le condensateur s'est déchargé jusqu'à une valeur correspondant à $1/e (= 0,37)$ de la tension de sortie. Ainsi, une SuperCap d'une capacité C de 10 F possède, en combinaison avec une résistance de 100 Ω, une constante de temps $\tau = 100 \Omega \cdot 10 F = 1000 s$ soit 16 mn 40 s. Un bon point de départ... Pour la mesure, on chargera le condensateur jusqu'à une tension de 2 V par exemple. Il suffit alors, pour mesurer la capacité, de mesurer le temps nécessaire pour que la tension tombe à $2 V \cdot 0,37 = 0,74 V$. La formule $C = \tau/R$ permet de calculer la capacité. Lors d'une mesure nous avons relevé une constante de temps de 1200 s ce qui permet de fixer à 12 F la capacité.



Si l'on manque de patience (ou de temps) on pourrait être tenté d'utiliser une résistance de valeur plus faible pour accélérer la mesure. Ceci pourrait amener à se trouver confronté à 2 problèmes. Le premier est que l'on pourrait fort bien se brûler les doigts (dans le sens propre de cette expression) vu qu'une SuperCap est capable, avec son courant de crête de 6 A, de fournir une puissance non négligeable. Secundo, le condensateur possède une résistance-série qui se traduit par une erreur de mesure d'autant plus importante que la résistance de décharge est faible.



Figure 2. Voici comment effectuer le bobinage de la petite self.

trale. Un fil de cuivre émaillé de 0,5 mm de diamètre devrait faire l'affaire. Quelle que soit la solution adoptée, cette bobine devient une sorte de transformateur. Le résonateur bloqueur entre bien en oscillation et travaille sagement jusqu'à une tension minimale de 0,5 V.

La tension de sortie est stabilisée à quelque 9 V par le biais d'un réseau de régulation rudimentaire. Un transistor NPN est utilisé ici en diode zener à tension zener de 8 V environ. Rien n'interdit bien entendu d'opter pour une véritable diode zener. Le fonctionnement de cette régulation de base est extrêmement fiable. Nous avons ainsi, à une tension d'entrée de 2,3 V, mesurée 8,5 V en sortie, alors que nous avions toujours encore 8,4 V alors que la tension d'entrée était tombée à 0,7 V.

Les caractéristiques techniques intéressantes d'un convertisseur bloqueur sont sa puissance de sortie et son rendement. Lors d'une mesure, nous avons chargé la sortie du convertisseur à l'aide d'une résistance de 1 kΩ. Dans le cas d'une tension d'entrée de 2,3 V nous avons mesuré un courant d'entrée de 50 mA. La dissipation primaire était partant de 115 mW. La tension de sortie était

exactement la même que celle mesurée à vide à savoir 8,5 V, le courant de sortie étant partant de 8,5 mA. Dans ces conditions, la puissance de sortie était de 72,3 mW, ce qui se traduit par un rendement de 63%.

Avec une charge de 8,2 kΩ cela donne un courant de sortie de 1 mA environ. La tension de sortie est maintenue à niveau constant jusqu'à ce que la Supercap se doit déchargée jusqu'à de l'ordre de 1 V, ce qui signifie qu'elle aura fourni à ce moment 80% de son énergie déjà. Au fur et à mesure de la diminution de la tension d'entrée en-deçà de cette valeur la tension de sortie chute elle aussi progressivement, sachant que nous avons mesuré, à une tension d'entrée de 0,6 V la tension de sortie était encore de 4,8 V.

Comme cela est normalement le cas avec un convertisseur de tension, le courant d'entrée chute en cas d'augmentation de la tension d'entrée. De plus, plus la charge prise à la sortie est faible, plus la consommation de

courant en sortie est faible.

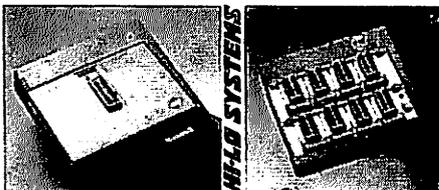
À vide, le convertisseur ne consomme que 2 mA à une tension d'entrée de 2,3 V. Dans ces conditions on peut espérer, en cas de consommation faible, une durée d'utilisation pouvant aller jusqu'à 2 heures, avant qu'il ne soit nécessaire de procéder à une recharge.

La Supercap d'une taille de 10 x 30 mm utilisée ici est fabriquée par la société coréenne Nuin TEK. On trouve sur Internet des sites proposant ce type de composant en VPC, comme, par exemple, la société AK-Modul-Bus (www.ak-modul-bus.de). Sur le serveur au service des amateurs d'expérimentations (en allemand malheureusement), www.elexs.de, de la même société, on découvrira d'autres expériences utilisant ces composants intéressants. On pourra utiliser également une Goldcap de 10 F/5 V plus facilement disponibles mais aux dimensions différentes.

CGP194

Publicité

HFL SYSTEMS



11P3 Programmeur Universel

- Plus de 8000 composants supportés
- Ports USB et parallèle
- Extensible en programmeur 8 supports
- Environnement Windows 32-Bit 95/98/2000/ME/NT/XP
- Mise à jour gratuite et illimitée sur Internet
- Garantie : 2 ans en échange standard

Compilateurs croisés C, C++,
Assembleurs, désassembleurs,
simulateurs/débogueurs.

Microchip, Motorola, Intel, Zilog,
Rockwell, Mitsubishi, Hitachi, TI,
Siemens, National...

Versions Education
Versions « Low-cost »...



Consultez tous nos produits sur
Internet !
www.programmation.fr
(Vente en ligne)

OUTILS DE DEVELOPPEMENT POUR L'INDUSTRIE ELECTRONIQUE



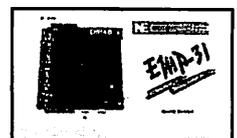
PROGRAMMATEUR UNIVERSEL
PORTABLE, Bon Marché.



PROGRAMMATEUR D'EPROM
(Flashes & BIOS) AUTONOME



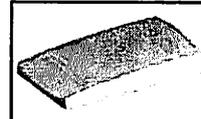
PROGRAMMATEURS « ISP »
PIC, AVR, Philips, ST7, Motorola...



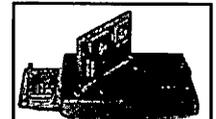
PROGRAMMATEURS Needham's



EMULATEURS : PHILIPS 8051/51XA,
PIC, 68000, 68HC11/05, DSP, EPROM, Flashes ...



ANALYSEURS LOGIQUES
GENERATEURS DE FONCTIONS



EMULATEUR « Temps réel » DE PIC



CARTE D'APPLICATION
8051, 68HC11/12/16



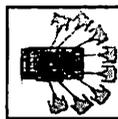
ADAPTEURS ET CONVERTISSEURS
Pour Programmeurs toutes marques



OSCILLOSCOPES MULTI-FONCTIONS
WIN, DOS, LINUX, DLLS...



LABORATOIRE D'APPRENTISSAGE
POUR INTEL, PHILIPS, ETC...



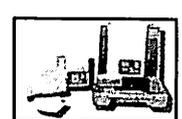
EXTENSION MULTIPORTS
RS-232/422/485



PORTS SERIES, PARALLÉLES
USB ...



PROGRAMMATEURS, LECTEURS
DE CARTES MAGNETIQUES



KIT DE DEVELOPPEMENT
POUR CARTES À PUCE



VENTE EN LIGNE

Tél. : +33 (0)1 42 42 15 15

Fax : +33 (0)1 42 42 08 33

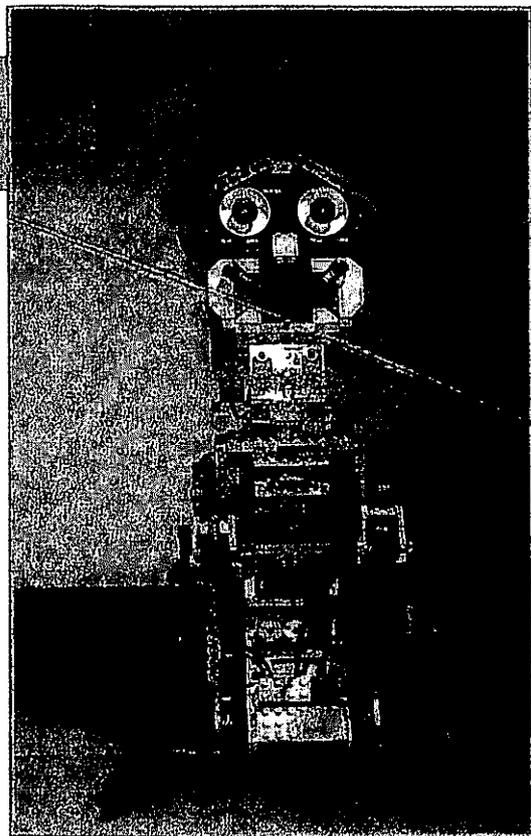
E-mail : commercial@programmation.fr - Internet : www.programmation.fr

Capteur auditif stéréo

Comment permettre à un robot de localiser des sources sonores

Claude Baumann et Laurent Kneip

Les serveurs robots de l'avenir doivent être capables de localiser leur « maître » ou « maîtresse », de les identifier à la voix et aussi de comprendre leurs ordres vocaux. Cet article est consacré à la localisation acoustique basée sur la fonction d'intercorrrelation. Une simplification de ce procédé de calcul met le tout à la portée d'un microcontrôleur. Le « capteur binaural » ainsi conçu peut déterminer la direction d'un signal sonore continu à 10° près.



Le robot en LEGO GASTON [1], réalisé en 2003 par des élèves (grande photo) comporte un grand nombre de fonctions intéressantes, telles qu'exprimer des sentiments. Il peut en outre localiser des sources sonores dans l'espace et tourner la tête dans cette direction. Il se sert pour cela d'un capteur dit à effet d'antériorité ou de Haas équipé de 3 microphones. Une onde sonore parvient à chaque micro à un instant différent. Ce décalage temporel permet d'estimer la direction d'où provien-

ent des bruits d'un niveau plus ou moins élevé (applaudissements ou claquements de doigts).

Malgré son impressionnante panoplie fonctionnelle, l'ouïe de GASTON ne lui permet pas de repérer un bruit continu, sans parler de localiser sa provenance. Il faut recourir à des techniques plus élaborées, atteignant même le franchement complexe, comme nous le verrons ci-dessous.

Comment effectuer une localisation acoustique

L'ouïe humaine est un système d'une extrême complexité aux propriétés étonnantes. Elle se compose de l'organe sensoriel proprement dit et des régions cervicales chargées de l'analyse. Sans ces dernières, il serait impossible de séparer les informations nécessaires de la cacophonie ambiante. Le cerveau effectue entre autres une détermination extrêmement complexe de la direction d'où provient le son. La précision de cette détermination atteint 3° environ ! Le repérage correct exige la collaboration de plusieurs sous-systèmes. Il faut tout d'abord posséder 2 oreilles, ce que l'on traduit par « système binaural ». L'ouïe dispose de différentes méthodes pour localiser latéralement une source sonore.

a. Interaural Level Difference – ILD

La longueur d'onde des basses fréquences dépasse le diamètre d'une tête humaine. Elles contournent donc celle-ci, de sorte qu'elles atteignent les 2 oreilles avec une intensité du même ordre. Pour les fréquences

ces dépassant 1 kHz, la tête constitue au contraire un obstacle qui joue le rôle de filtre passe-bas (jusqu'à -20 dB) en dispensant une « ombre sonore ». Le signal reçu par l'oreille orientée vers la source sonore est bien plus fort que celui que reçoit l'autre oreille (figure 1).

b. Interaural Time Difference – ITD

Si le son arrive latéralement, la réception des signaux par les 2 oreilles n'est pas simultanée. Ce délai est mesuré à l'aide d'une sorte d'intercorrrelation neuronale. Le déphasage entre les 2 signaux permet en effet de déterminer l'angle par rapport à la source sonore (azimut α).

Considérons la figure 2. Mathématiquement, tous les points $M(u,v)$ ayant la même différence de temps de propagation se trouvent sur une hyperbole dont l'équation est :

$u^2/a^2 - v^2/b^2 = 1$, $a = \Delta x / 2$, $b^2 = c^2 - a^2$, où k est la moitié de la distance entre les oreilles et Δx le chemin parcouru par l'onde sonore pendant la courte différence de temps Δt , où $\Delta x = c \cdot \Delta t$. La vitesse du son c vaut 343 m/s à 25°C.

La partie avant de l'hyperbole se rapproche asymptotiquement de l'équation : $v = b/a \cdot u$, avec $\tan(\beta) = b/a$

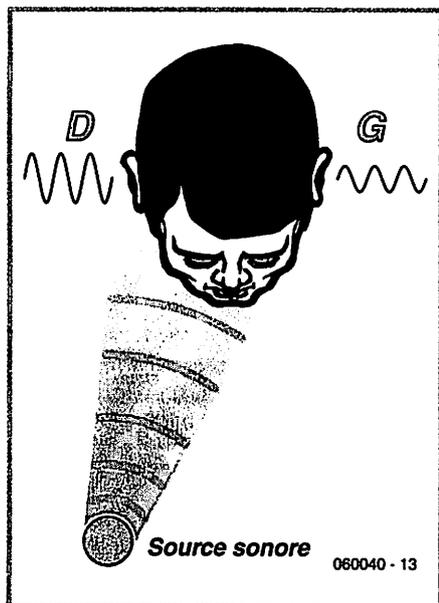


Figure 1. Pour les fréquences dépassant 1 kHz, la tête constitue un obstacle qui joue le rôle de filtre passe-bas. Le signal reçu par l'oreille orientée vers la source sonore est bien plus fort que celui que reçoit l'autre oreille.

$$\beta = \arctan \left(\sqrt{\frac{4k^2}{c^2} \cdot \frac{1}{\Delta t^2} - 1} \right)$$

Pour R (Right : oreille droite), on a :

$\alpha = 90^\circ - \beta$, pour L (Left : oreille gauche),
par conséquent $\alpha = -(90^\circ - \beta)$.

L'ouïe doit encore obtenir des informations supplémentaires sur la provenance avant ou arrière du son. De plus, le son peut provenir d'en haut ou d'en bas. On se trouve donc en présence d'un hyperboloïde à la surface duquel sont situés tous les points ayant la même différence de temps de propagation. Pour résoudre ce genre d'ambiguïté, l'oreille humaine fait appel aux modifications caractéristiques de la représentation spectrale dues au tronc, à la tête et aux pavillons des oreilles. Des mouvements de la tête, qui pourraient tenir compte de l'effet Doppler, sont également impliqués.

L'exemple qui suit donne une idée de la puissance de calcul que doit fournir le cerveau lui-même lors de la détermination gauche-droite. Supposons que le son provienne de la droite ($\alpha = 20^\circ$). Dans le cas d'un éloignement moyen des oreilles de 17,5 cm, les équations nous donnent un temps de propagation de 175 μ s. Avec 3° , la valeur se réduit à 27 μ s. Que le cerveau (dont le temps d'activation des neurones est de l'ordre de la milliseconde) puisse mesurer des différences de temps aussi brèves et en déduire la direction laisse entrevoir un mécanisme d'une grande complexité.

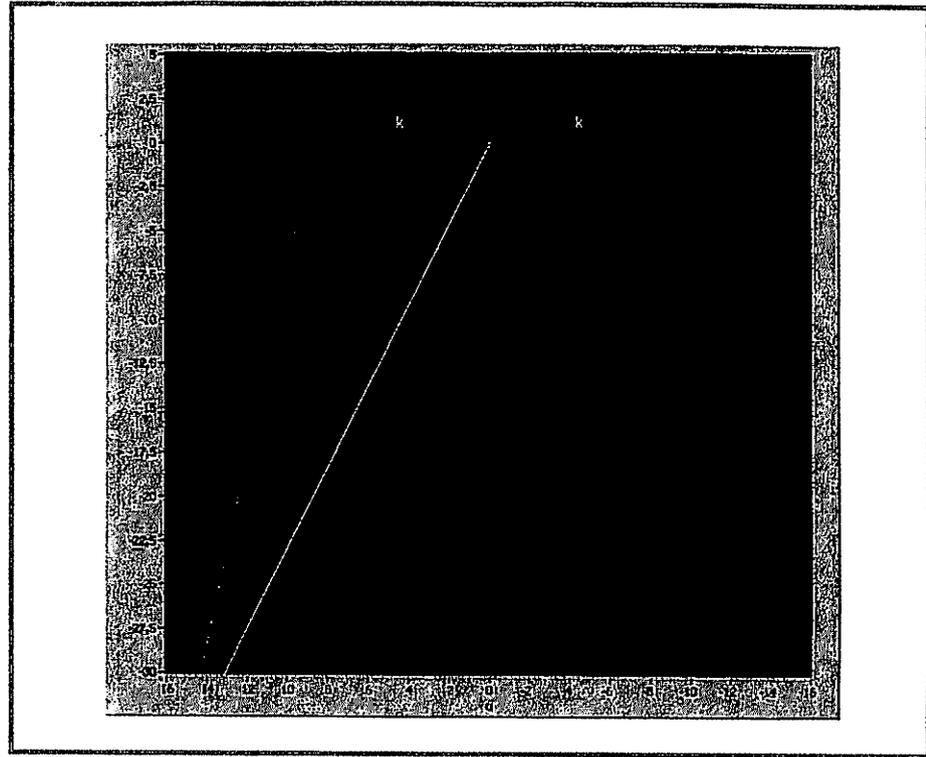


Figure 2. Si le son arrive latéralement, la réception des signaux par les 2 oreilles n'est pas simultanée. Mathématiquement, tous les points ayant la même différence de temps de propagation se trouvent sur une hyperbole (rouge) dont une asymptote (blanche) se rapproche : Le cerveau peut en déduire la direction de la source sonore à défaut de son emplacement.

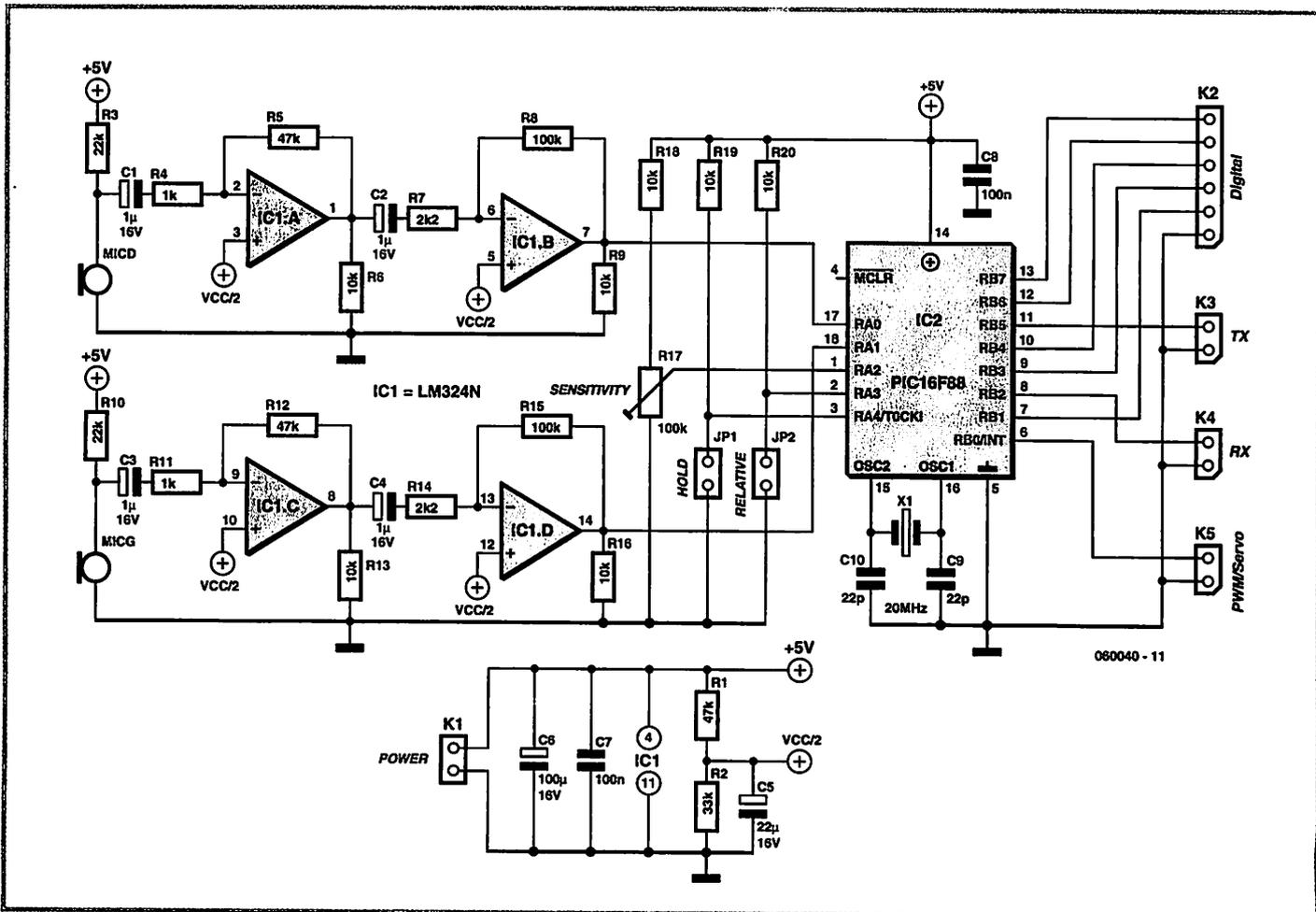


Figure 3. Le circuit se compose de 2 canaux audio équipés chacun d'un microphone à électret et d'un amplificateur à 2 étages. Les sorties des amplificateurs sont raccordées à 2 entrées du microcontrôleur configurées comme convertisseurs A/N.

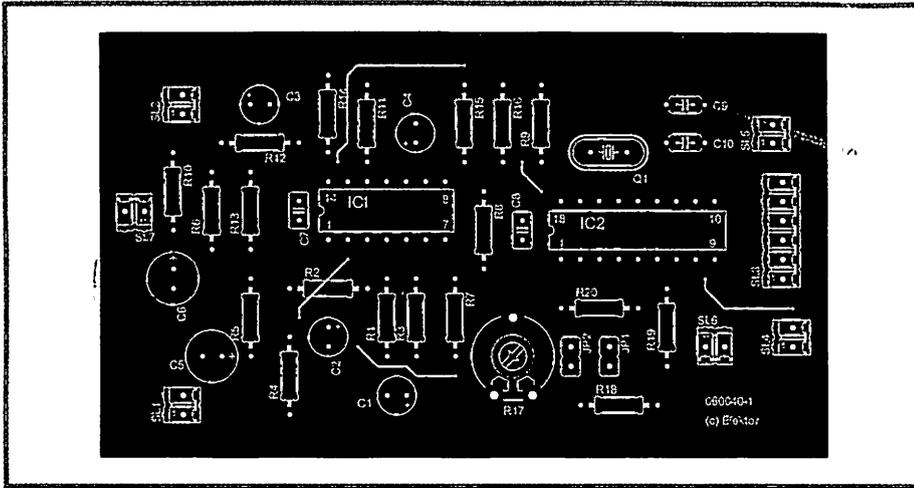


Figure 4. Schéma de montage du capteur binaural. Le dessin des pistes est téléchargeable gratuitement depuis le site Web d'Elektor (3).

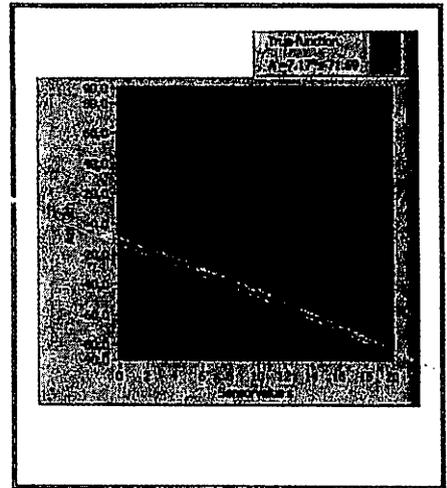


Figure 5. La précision du repérage varie en fonction de l'azimut. La moyenne est de l'ordre de 9°.

Liste des composants

Résistances :

- R1, R5, R12 = 47 k Ω
- R2 = 33 k Ω
- R3, R10 = 22 k Ω
- R4, R11 = 1 k Ω
- R6, R9, R13, R16, R18, R19, R20 = 10 k Ω
- R7, R14 = 2k Ω
- R8, R15 = 100 k Ω
- R17 = ajustable 100 k Ω

Condensateurs :

- C1, C2, C3, C4 = 1 μ F/16 V
- C5 = 22 μ F/16 V
- C6 = 100 μ F/16 V
- C7, C8 = 100 nF
- C9, C10 = 22 pF

Semi-conducteurs :

- IC1 = LM324
- IC2 = PIC16F88 (programmé, EPS060040-41 disponible auprès des adresses habituelles)

Divers :

- X1 = quartz 20 MHz support DIL14
- support DIL18
- K1, K3, K4, K5 = embase autosécable à 1 rangée de 2 contacts (K4 est ponté pour l'instant par une résistance de 100 k Ω , cf. texte)
- K2 = embase autosécable à 1 rangée de 6 contacts
- JP1, JP2 = cavalier
- MicR, MicL = micro électret CZ034 platine EPS060040-1 téléchargeable gratuitement depuis www.elektor.fr

Les limites d'application de la détermination ITD sont évidentes. À partir de 1 kHz, la différence maximale de temps de propagation de 500 μ s déterminée par la distance interauriculaire correspond à la moitié d'une période, soit à une relation de phase de 180°. Il devient alors impossible de déterminer si le signal de droite est en avance ou en retard de phase par rapport au signal de gauche.

c. Effet d'antériorité

De fortes distorsions des signaux par réverbération acoustique compliquent passablement la localisation. Un sous-système prend alors le relais, l'interprétation gauche-droite. Son fonctionnement rappelle celui de la détermination ITD à la différence essentielle près que seul le front de l'onde sonore est considéré. On peut se représenter ce système comme une porte neuronale qui s'ouvre pendant environ 1 ms en présence d'un signal sonore. La différence de phase des 2 signaux reçus et raccourcis est alors extraite. Tous les échos suivants sont rejetés. L'ouïe du robot GASTON est basée sur cet effet. Il va sans dire que l'analyse d'antériorité ne convient pas dans le cas d'un signal continu.

L'intercorrélation, une alternative

L'intercorrélation (corrélation croisée) compte parmi les méthodes les plus populaires permettant de comparer 2 signaux équivalents. Comme l'analyse de Fourier, elle fait partie des incontournables parmi les techniques numériques de traitement du signal.

La fonction numérique d'intercorrélation de 2 signaux enregistrés se calcule comme décrit ci-dessous. On obtient la valeur de cette fonction à $\Delta t = 0$ en effectuant tout d'abord le produit des valeurs mesurées des 2 signaux pour tous les points t. On

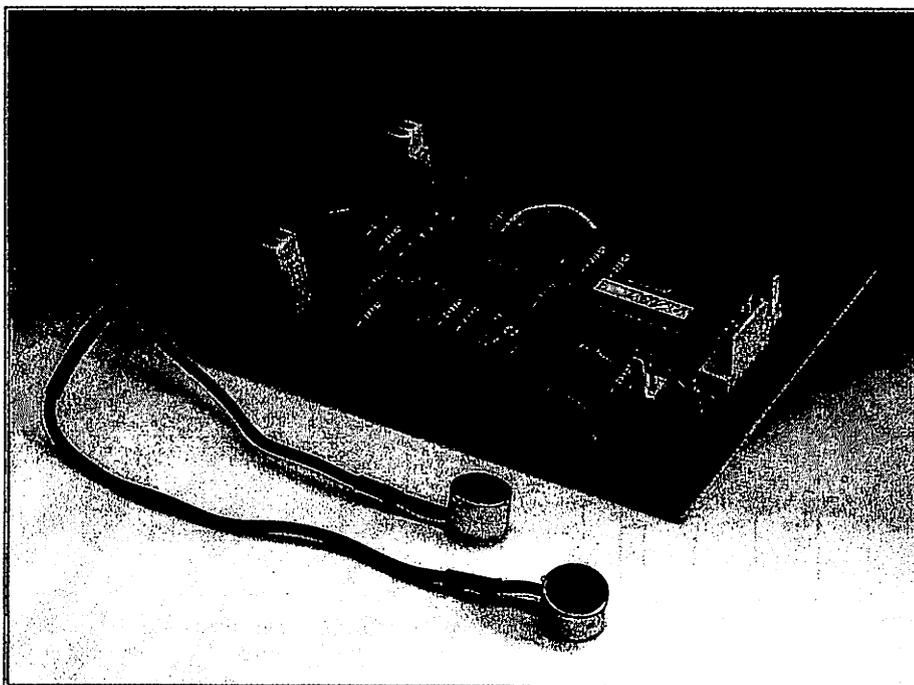


Figure 6. Prototype de notre capteur binaural.

additionne alors tous ces produits et on applique un facteur de normalisation au résultat. On procède de façon analogue pour calculer la fonction d'intercorrélation à une autre valeur du temps, par exemple $\Delta t = 1 \mu s$. On décale toutefois d'abord le second signal de $1 \mu s$ par rapport au premier. On multiplie ensuite toutes les mesures, on additionne les produits et on effectue la normalisation. On procède de façon identique pour calculer toutes les autres valeurs de la fonction d'intercorrélation. Il faut bien entendu limiter le volume de calcul en choisissant un pas raisonnable. La fonction d'intercorrélation permet de déterminer si les 2 signaux sont « corrélés ». Supposons par exemple que le premier signal soit déphasé par rapport au second, mais sinon très semblable ; la fonction d'intercorrélation possèdera un maximum prononcé à l'endroit du déphasage. Le grand nombre de multiplications et d'additions vaut à la fonction d'intercorrélation la réputation d'être un des consommateurs les plus redoutables de temps processeur.

Comment limiter le volume de calcul

L'audition de notre robot ne souffrira aucunement d'une recherche du déphasage restreinte à la plage basée sur la distance entre les 2 oreilles – pardon microphones. Il est en outre facile de démontrer que la maximisation de la somme des produits (intercorrélation) équivaut à la minimisation d'une fonction bien plus simple à calculer. La somme des différences des 2 valeurs du signal (au carré) peut être transformée pour chaque déphasage τ de telle sorte que la fonction d'intercorrélation $\gamma(\tau)$ apparaîtra dans l'équation.

$$\begin{aligned} f(\tau) &= \sum [x(t) - y(t + \tau)]^2 \\ &= \sum [x^2(t) + y^2(t + \tau) - 2x(t)y(t + \tau)] \\ &= \underbrace{\sum x^2(t) + \sum y^2(t + \tau)}_{c_1} - 2 \sum x(t)y(t + \tau) \\ &= c_1 - 2 \cdot N \cdot \gamma(\tau) \end{aligned}$$

avec $\gamma(\tau) = (2N)^{-1} [c_1 - f(\tau)]$

La valeur c_1 est identique pour tous les déphasages. En effet, les carrés de toutes les valeurs du signal sont additionnées chaque fois, quelle que soit leur relation de phase. (N est la moyenne géométrique, elle aussi constante, de toutes les valeurs du signal. Elle est le coefficient de normalisation de $\gamma(\tau)$.) Il est évident qu'une maximisation de la fonction d'intercorrélation est équivalente à une minimisation de la somme des déviations f . On peut enfin remplacer f par la fonction suivante qui ne nécessite qu'une puissance de calcul bien plus modeste

$$g(\tau) = \sum |x(t) - y(t + \tau)|$$

et le comportement de la courbe obtenue est similaire à celui de la fonction d'intercorrélation. Il suffit pour cela de soustraire l'une de l'autre les 2 valeurs instantanées du signal puis de laisser tomber le signe, en d'autres termes de déterminer la valeur de la différence d'amplitude. La somme constitue une valeur non normalisée qu'il faut minimiser. Nous disposons ainsi d'une méthode de calcul au moins 20 x plus rapide que l'intercorrélation.

Comment réaliser son propre capteur binaural

Le circuit (figure 3) est on ne peut plus simple. Il se compose de 2 canaux audio équipés chacun d'un microphone à électret et d'un amplificateur à 2 étages. Les sorties des amplificateurs sont raccordées à 2 entrées du microcontrôleur configurées comme convertisseurs A/N. La sensibilité du capteur est ajustée par le l'ajustable R17 (*Sensitivity*).

Les repérages sont disponibles au rythme d'un dixième de seconde. Ils sont fournis sous différentes formes pour que le capteur puisse être raccordé à différents types de robots. Le résultat de chaque repérage est envoyé sous forme d'octet de mesure (2400, 1, N, 8) par le module UART (*TX*). Il est aussi fourni sous forme de valeur numérique de 5 bits (*Digital*). La sortie servo (*PWM/Servo*) produit un signal 50 Hz d'une largeur de 1 à 2 ms permettant de commander un servomoteur de type courant destiné aux modèles réduits. Le cavalier 1 (*Hold*) peut être inséré pour effectuer des tests. Il permet d'effectuer une pause de 2 s entre 2 mesures au cours de laquelle la dernière valeur de sortie est maintenue. Si le cavalier 2 (*Relative*) est inséré, la moyenne est envoyée si le signal est trop faible, sinon la valeur précédente est maintenue. Le capteur offre en effet 2 configurations de base. S'il fait partie d'un robot mobile, les microphones se déplacent avec la base de celui-ci. Le robot ne doit pas pivoter quand les signaux sont faibles, sous peine de poursuivre en vain un bruit fantôme. L'azimut de $\alpha = 0$ fourni par le capteur donne le résultat désiré. Si par contre le capteur utilise une configuration fixe des microphones, par exemple pour commander une caméra Web, une interprétation erronée ferait pivoter continuellement celle-ci. La stratégie dans ce cas consiste à conserver la dernière valeur correcte.

L'entrée *RX* ne remplit actuellement aucune fonction. Elle pourrait toutefois être utilisée lors d'une future mise à jour du micrologiciel. Il est préférable de relier cette entrée

à la masse par une résistance additionnelle de 100 k Ω pour éviter les phénomènes d'entrée flottante.

Séquence temporelle et résolution

Le capteur doit avoir un taux d'échantillonnage suffisamment élevé pour déterminer des ITD (donc des différences de temps de propagation) dans une plage de 200 à 1000 Hz. Ce but ne sera atteint qu'avec une organisation élaborée du programme du microcontrôleur. Le PIC16F88 offre un accès simple et rapide des 2 x 96 octets dans les blocs de mémoire (*banks*) 2 et 3. Il suffit de modifier un seul bit pour que les valeurs des 2 canaux de signalisation soient mémorisées à la vitesse de l'éclair par adressage indirect.

Bien que le PIC16F88 possède des convertisseurs A/N 10 bits, seuls les 8 bits les plus significatifs sont utilisés. On obtient une fréquence d'échantillonnage de 20 kHz. Les valeurs de mesure sont lissées par un filtre FIR. Le programme ignore simplement les erreurs d'interprétation ; la dernière valeur correcte est maintenue.

Un déphasage de 180° pour un signal de 1 kHz correspond à une différence de temps de propagation 0,5 ms, donc à la durée de mesure de 10 points.

La plus petite différence du temps de propagation détectable équivaut à une distance minimale de :

$$d_{\min} = 50 [\mu s] \cdot 343 [m/s] = 1,7 \text{ cm}$$

La distance optimale $2k$ entre les microphones est donnée par :

$$2k = 10 [\text{Samples}] \cdot d_{\min} = 17 \text{ cm}$$

Si le signal provient exactement de la droite ou de la gauche (azimut $\alpha = \pm 90^\circ$), une différence du temps de propagation égale à ± 10 échantillons (*samples*) est mesurée. Le calcul de la corrélation comporte donc au moins 20 sommations des différences d'amplitude. Considérons maintenant le cas où les microphones sont fixés à une « tête ». Il faut remplacer la distance interaurale directe par le trajet réel du son diffracté autour de la tête, c'est-à-dire par la longueur d'arc maximale $r \cdot \pi$, où r est le rayon de la tête. Le rayon doit être tel que la longueur d'arc ne dépasse pas 17 cm.

La précision du repérage varie en fonction de l'azimut. Comme on peut le déduire de la figure 5, elle atteint environ 5° quand le son provient de l'avant. Elle atteint 11° avec des ondes venant du côté. Elle n'est plus que de 25° à la limite de détection. La moyenne est de l'ordre de 9°. La caractéristique de directionnalité prononcée des microphones à électret rend superflue toute analyse supplémentaire en sens longitudinal.

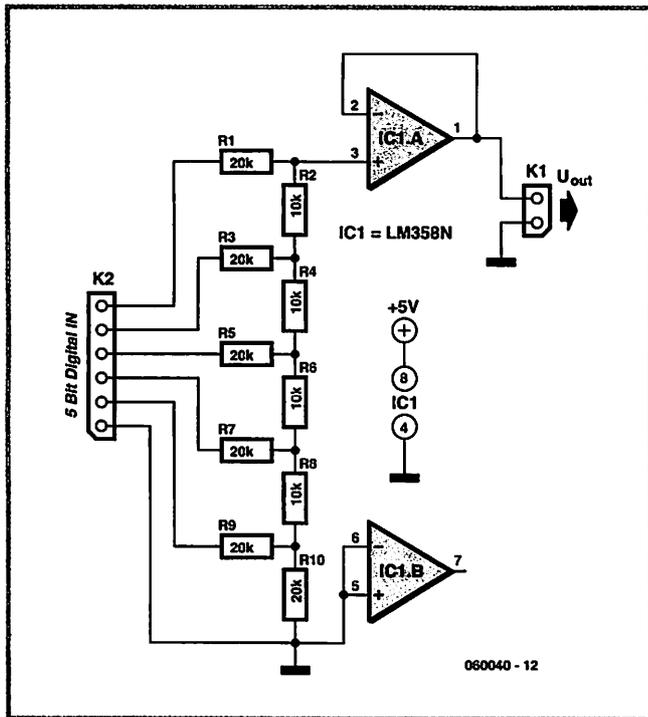


Figure 7. Le réseau de résistances sert de convertisseur N/A. Il faut ici utiliser des résistances à de tolérance de 1%.

bêta. Le programme en langage assembleur **Binaural_v132.asm** et le fichier en pseudo-code binaire **Binaural_v132.hex** peuvent être téléchargés à partir du site Web d'Elektor [3]. Un contrôleur programmé peut être obtenu au même endroit. Le schéma de montage est reproduit dans la **figure 4**. Le dessin de la platine peut être téléchargé gratuitement depuis le site Web d'Elektor [3].

Montage et test

Lors de la réalisation pratique de ce capteur, il est parfois nécessaire de raccorder les microphones par des câbles audio blindés. On empêche ainsi un taux excessif de

signaux parasites de parvenir aux entrées des amplificateurs. Notre prototype est reproduit dans la **figure 6**.

Le courant de l'ordre de 10 mA consommé par ce capteur est assez faible pour qu'une alimentation 5 V, de faible puissance mais stable, suffisent déjà à ses besoins. Les microphones, montés vers l'avant, doivent se trouver à une distance de 17 cm l'un de l'autre. Un signal de test de 500 Hz est idéal pour les premiers essais. On peut aussi pousser la chansonnette ou en charger la radio. Il faut tout d'abord faire pivoter le potentiomètre trimmer jusqu'à la butée de gauche pour que le capteur offre la sensibilité la plus élevée. Pour obtenir une tension comme signal de sortie, il est recommandé de raccorder un réseau de résistances $2R/R$ en aval de la sortie numérique des capteurs (figure 7). Il est toutefois indispensable de le faire suivre d'un convertisseur d'impédance.

(060040-1)

Liens sur le Web

- (1) www.convict.lu/Jeunes/RoboticsIntro.htm
- (2) www.ultimaterobolab.com
- (3) www.elektor.fr

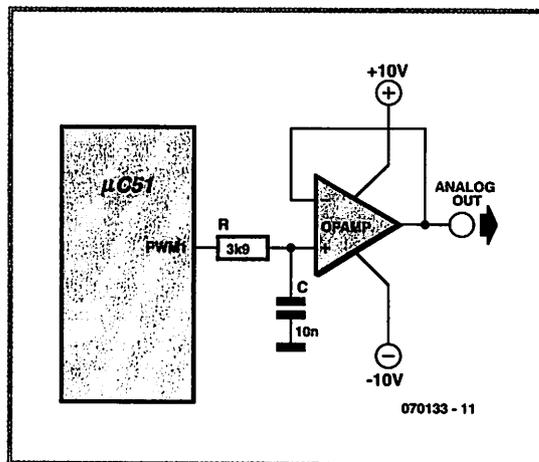
Le PIC16F88 a été programmé avec Ultimate Lab. Cet environnement de développement, basé sur LabVIEW, a été conçu pour répondre aux besoins du *Center for Engineering Education Outreach* (CEEO) de la Tufts University, Massachusetts. Il est actuellement disponible en version

Signification des valeurs de sortie du capteur			
Direction	(s+2) entier 8 bits (TX)	PWM/Servo	(s+6) entier 5 bits (Digital)
À fond à droite	22	2 ms	26
Centre	12	1,5 ms	16
À fond à gauche	2	1 ms	6

Convertisseur N/A simple pour robots

Tilo Gockel

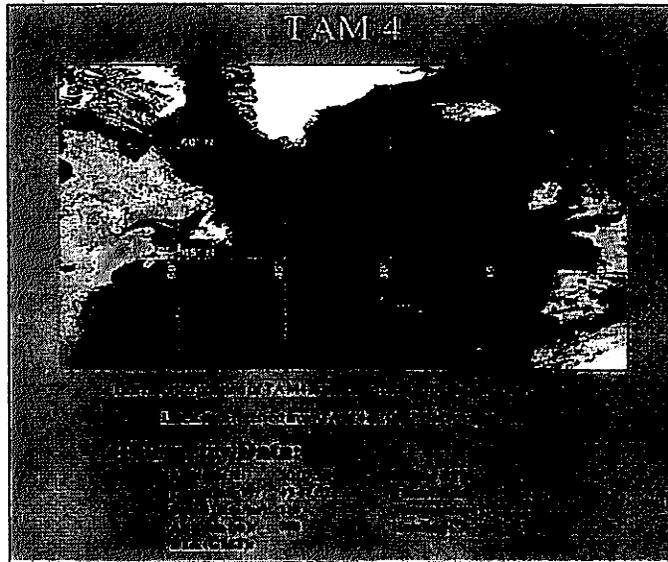
Lorsqu'un convertisseur numérique-analogique (CNA) intégré fait défaut à un microcontrôleur pour la sortie de valeurs analogiques, on peut naturellement y suppléer à l'aide d'un circuit intégré CNA externe. Cette solution n'est ni la plus simple ni la plus élégante. Le montage présenté ici, proposé dans une note d'application de Microchip [1], se passe de circuit intégré spécial et résout judicieusement le problème. Le microcontrôleur y produit un signal à modulation en largeur d'impulsion (MLI = PWM pour *Pulse Width Modulation* en anglais) qu'un simple filtre passe-bas RC convertit en un signal analogique. En fait, le signal PWM est déjà un signal analogique, même s'il



présente l'aspect d'un signal numérique: son amplitude est certes aussi constante que la fréquence du signal PWM, mais la

durée des impulsions varie entre 0% et 100%, proportionnellement à l'amplitude du signal analogique à produire. On peut ainsi obtenir une tension analogique en sollicitant en PWM une broche de port à l'aide d'un chronomètre, par exemple.

La note d'application explique comment calculer le filtre passe-bas RC. Avec les valeurs de composants indiquées (3,9 kΩ et 10 nF), la fréquence de coupure à -3 dB du filtre passe-bas est de quelque 4 kHz. Pour une fréquence PWM de 20 kHz, le dispositif produira des signaux analogiques (émissions vocales ou sonores du robot, par exemple) avec une bande passante qui peut atteindre 4 kHz. Le filtre passe-bas atténue de 14 dB la fréquence PWM de 20 kHz. La faiblesse de cette atté-



Monte-en l'air

En aéromodélisme la télémétrie donne à l'occasion des résultats surprenants – en particulier lorsque l'électronique s'en mêle...

À chaque fois il se vérifie que le modélisme et l'électronique constituent une combinaison fructueuse. Le défi est à chaque fois de découvrir des applications marquantes offertes par leur association. Ainsi, Olivier

Humez décrit sur son site [1] des appareillages de toutes sortes servant à « accrocher » des appareils photo ou des caméscopes à des aéronefs ou des ballons. Les photos et images prises en cours d'opérations voire envoyées au

sol par une liaison sans fil, parlent d'elles-mêmes.

Rien ne force à se limiter à la prise de photos. Mr Humez a développé un système de télémétrie. Il est possible ainsi, par exemple, de mesurer l'altitude, la température et la tension aux bornes de l'accu et d'envoyer ces informations en temps réel vers la « terre », combinées éventuellement à une liaison vidéo pour une incrustation sur l'image d'un écran.

Notre compatriote n'est pas le seul à trouver son bonheur dans cette matière ô combien intéressante. Ainsi, une équipe sous la direction de Maynard Hill a réussi à faire traverser l'Atlantique à un modèle réduit volant. Lors du décollage et de l'atterrissage l'avion est radiocommandé comme d'habitude. Au cours du vol, un microprocesseur prit le pilotage à son compte : le trajet était corrigé en permanence à partir des informations GPS. Quelques détails techniques : 3 000 km en 39 heures, consommation de carburant totale 5,7 l (!) Leur site [2] donne de plus amples informations concernant le trajet et les techniques utilisées.

On trouve sur Internet d'autres sites consacrés à la télémétrie et à l'acquisition de données, le site de Dietrich Meissner [3], donne des schémas de circuits et programmes pour PIC, Palm et Windows.

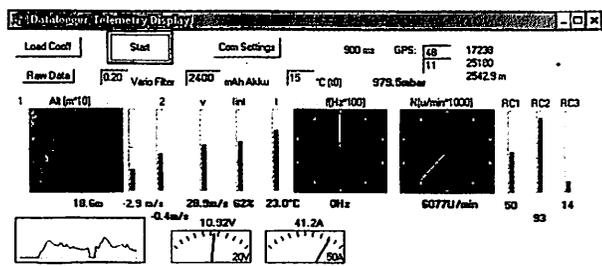
Voulez-vous en savoir plus ? Jetez un coup d'oeil aux sites mentionnés ou entrez les mots-clé « model » ou « télémétrie » (*telemetry*) dans un moteur de recherche tel que Google (www.google.com).

(040078)

[1] **Images prises du ciel sur le site de Olivier Humez :**
www.kapelec.com/

[2] **Page d'accueil de Trans Atlantic Model :**
<http://tam.plannet21.com/index.htm>
Informations concernant le dit vol :
www.kh-gps.de/flug.htm

Circuits et logiciels sur le site de Dietrich Meissner :
http://home.germany.net/100-173822/d_logg2_engl.htm



schematic V2.5c
schem2_5c.gif

layout V2.5c
lay_bot_5c.gif
lay_top_2_5c.gif

part place V2.5c
lay_bot_place2_5c.gif
lay_top_place2_5c.gif
lay_jump2_5c.gif

partlist V2.5c
partlist_51X1

following the old data:
schematic V2.4:
schem11.gif

layout V2.4:
log2_lay.zip

partlist V2.4:
partlist1

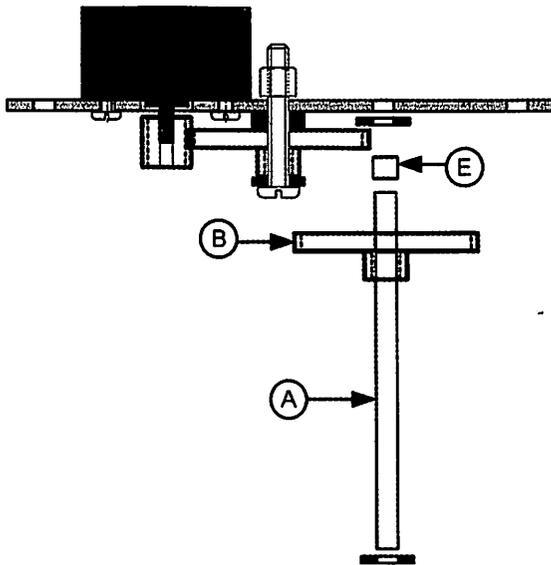


Figure 1.14 – Montage du deuxième pignon (final)

un petit coupe-tube de modélisme pour cette opération, mais vous pouvez utiliser un petit tube aluminium au cutter en faisant tourner ce dernier avec la lame, en prenant bien sûr attention à ne pas vous blesser.

Après quelques essais, vous arriverez à la bonne longueur de l'entretoise.

Vous enfilerez l'entretoise sur l'axe avec le pignon dont le diamètre du trou est de 2,9 mm. Ce pignon rentrera donc en force sur l'axe, et c'est le but. Ainsi, le pignon entraînera l'axe de sortie et, par conséquent, la roue qui y

est fixé. Le montage final de notre motoréducteur se terminera par l'assemblage des deux flasques. Ces deux flasques sont reliés ensemble par deux entretoises hexagonales métalliques. Il sera certainement nécessaire d'ajouter une ou deux rondelles de 3 mm pour faciliter le montage. Avec l'aide de quatre vis M3, le montage final ne posera

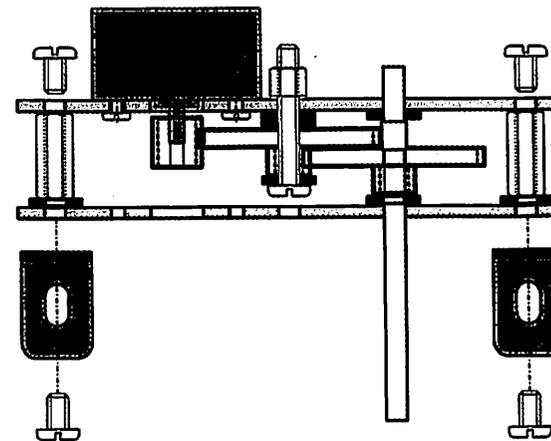


Figure 1.15 – Assemblage des deux flasques

pas de problème. Deux équerres permettront de fixer le motoréducteur terminé. Ces équerres seront prises en sandwich avec les vis de fixation du 2^e flasque, tel que représenté figure 1.15.

Nous sommes maintenant en possession d'un motoréducteur « maison » de belle facture mais qui n'est pas forcément adapté pour la motorisation d'un robot. Il se peut que le couple obtenu par l'engrenage des trois pignons (le pignon moteur et les deux autres pignons) ne soit pas suffisant.

Sans modifier les flasques, il est possible d'ajouter autant de pignons que l'on veut. Il faudra néanmoins rallonger les entretoises entre les deux flasques et ajouter quelques rondelles et une entretoise aluminium. La vis de 3 mm qui servait d'axe au premier pignon doit être plus longue. La figure 1.16 montre un ajout de deux pignons.

Il ne faut pas oublier que le dernier pignon doit être celui qui entraîne l'axe de sortie. Par conséquent, ce sera un modèle avec trou central de 2,9 mm. Le pignon se trouvant juste derrière sera donc libre en rotation, avec un trou d'axe de 3 mm comme les autres pignons.

ve ensuite le moment de fixer le moteur et son pignon. Je vous conseille de monter condensateurs antiparasites après le montage du motoréducteur afin de ne pas endommager à la suite des nombreuses manipulations qui seront nécessaires. Le moteur se monte aisément à l'aide des deux petites vis de fixation récupérées avec achetées à part (ces vis mesurent au plus 3,5 mm de long pour un diamètre de 1 mm).

à fois le moteur fixé, vous n'aurez plus qu'à emmancher en force le pignon moteur plastique sur son axe.

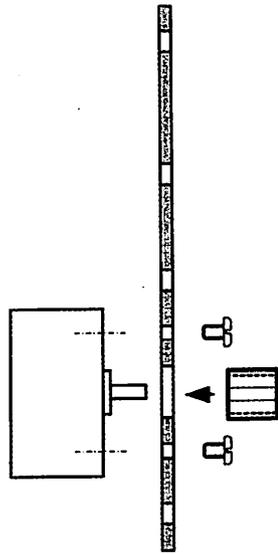


Figure 1.12 - La fixation du moteur et de son pignon

tape suivante va nous amener à monter le premier pignon de l'engrenage. Ce pignon a un trou d'axe de 3 mm et devra tourner librement sur ce dernier. L'axe du pignon sera en fait une vis de 3 mm de diamètre. Cette vis aura une longueur de 20 mm. Il faudra aussi trois rondelles de diamètre central de 3 mm et un écrou dit istop (appelé aussi écrou frein) de 3 mm.

Après avoir réalisé le montage représenté figure 1.13, il suffit d'empiler sur la vis une rondelle, le pignon puis au moins deux rondelles.

Enfin, il faut serrer le tout et vérifier que le pignon s'engrène bien avec le pignon moteur. Serrer l'écrou frein jusqu'à ce que le montage soit bien maintenu sans empêcher la rotation des deux pignons.

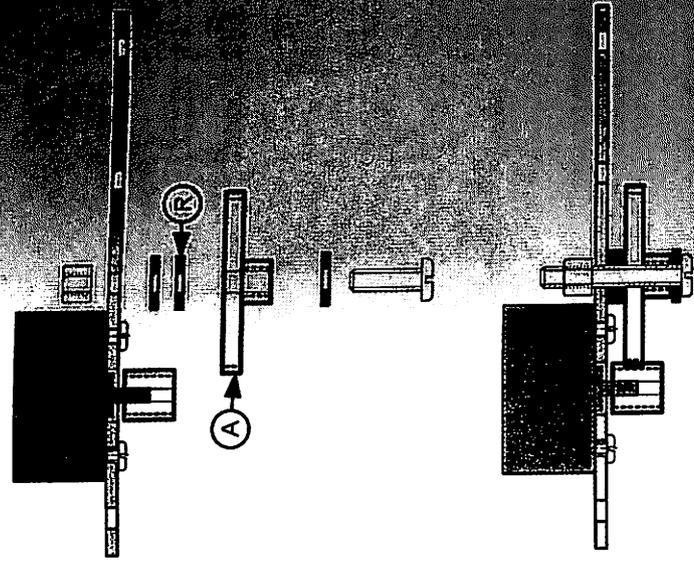


Figure 1.13 - Pose du premier pignon et de son axe

Nous allons maintenant monter le dernier pignon. Pour ce faire, il nous faudra un axe cylindrique de 3 mm de diamètre et de longueur 65 mm environ. Il nous faudra aussi un petit morceau de tube aluminium de diamètre intérieur 3 mm (repéré E sur figure 1.14), qui servira d'entretoise pour l'ajustage de la hauteur du pignon final. Le pignon qui aura un trou central de diamètre 2,9 mm. Il nous faudra aussi deux rondelles de diamètre central 3 mm.

La partie la plus délicate est la détermination de la hauteur de l'entretoise E. Elle sera entre 2,5 et 3 mm, le mieux étant de la couper à cette dernière mesure et de la réduire si nécessaire.

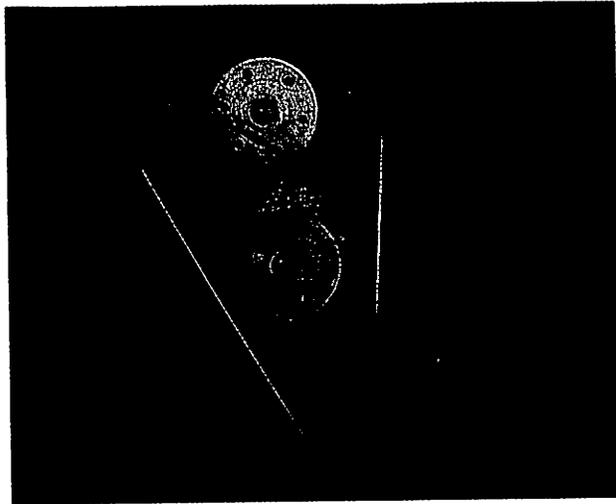


Figure 1.10 – Les moteurs et axes de lecteurs de CD-Rom

liques qui servent au chariot de déplacement de la tête laser. Ils vous serviront d'axes pour les réducteurs, s'ils font 3 mm de diamètre et au moins 65 mm de long. Se reporter au paragraphe 5.1, « La récupération », pour connaître les pièces à récupérer sur les lecteurs de CD-Rom.

Nous utiliserons de la plaque d'époxy de 16/10 cuivrée pour réaliser les flasques des réducteurs.

Bien entendu, vous devrez réaliser ce motoréducteur en double exemplaire et les monter en sandwich afin que les axes des roues se retrouvent alignés l'un dans le prolongement de l'autre.

Au final, vos motoréducteurs seront un peu plus gros que le kit Tamiya, mais vous aurez la satisfaction de les avoir réalisés.

Une fois en possession des composants essentiels, à savoir le moteur, les pignons à axe de 2,9 et 3 mm, les axes de 3 mm de diamètre (longueur 65 mm) et un pignon moteur, nous allons pouvoir nous lancer dans la réalisation d'un réducteur.

Dans une plaque d'époxy 16/10 (soit 1,6 mm d'épaisseur), nous allons découper deux flasques selon le dessin de la figure 1.11. Vous réaliserez les deux flasques, même si celui représenté est plus adapté pour la fixation du moteur. Le côté cuivre des flasques sera découpé avec un grattoir type vaisselle (tampe vert) afin que le cuivre soit parfaitement propre et brillant, ceci pour pouvoir y souder les équerres de fixation.

Les trous repérés T sont les trous de fixation du moteur. Ils seront usinés au diamètre adéquat, dépendant des vis récupérées avec les moteurs, mais n'excèdent pas 1,5 mm. Le perçage de 7 mm permettra de descendre le pignon moteur pour son centrage.

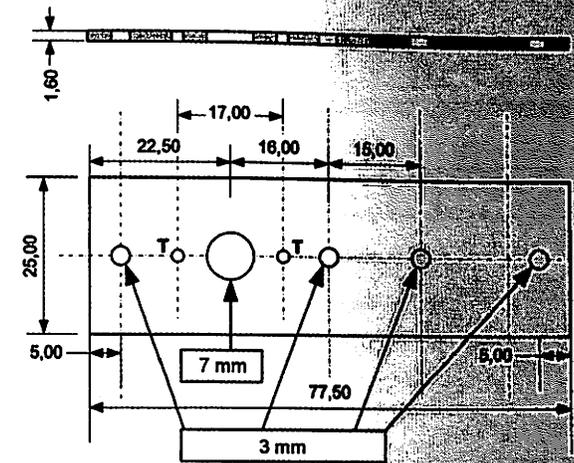


Figure 1.11 – Cotation et perçage d'un flasque

La méthode la plus simple est de réaliser les plaques en époxy deux à deux puis usiner ensemble afin que les trous soient bien en face.

Pour ma part, j'ai réalisé les deux flasques, j'ai contrepercé les deux trous et j'ai boulonné les deux flasques et j'ai ensuite usiné les autres trous.

Nota : on élève le rapport de réduction d'un pignon à la puissance n pour permettre de prendre en compte le rapport cumulé des pignons montés en cascade. En connaissant V_r , on peut facilement calculer, théoriquement, la vitesse de notre robot.

La formule ci-dessous nous le permet :

$$V_{\text{robot}} = V_r (\pi d / 60)$$

V_{robot} : vitesse du robot en centimètres par seconde

π : arrondi à 3,14

d : diamètre d'une des roues du robot en centimètres

Un petit programme est disponible en téléchargement sur le site de l'éditeur et vous permet de faire vos calculs le plus simplement possible.



Les roues

Le choix des roues se fera selon la motorisation. J'ai utilisé des roues Meccano mais une multitude de modèles sont disponibles dans le commerce, à adapter au diamètre des axes de sortie des motoréducteurs.

Les roues MFA sont des modèles qui s'emboîtent en force sur les axes des motoréducteurs. Elles sont en plastique et plusieurs tailles sont disponibles.



Réaliser son propre motoréducteur

Cette solution vous permet, moyennant de la patience et un peu d'attention, de réaliser un motoréducteur dont les caractéristiques n'auront rien à envier aux modèles équivalents du commerce.

Vous pourrez ainsi réaliser un motoréducteur qui vous permettra de motoriser un robot, un jouet « à pousser » pour le rendre autonome ou tout autre mécanisme dont vous avez besoin.

Pour mener à bien cette réalisation, vous devrez vous munir de lots de pignons de marque MFA ou autre, que vous trouverez assez facilement en France car ils sont main-

tenant distribués par plusieurs revendeurs (voir en fin d'ouvrage). Généralement, on trouve deux types de pignons différenciés par leur couleur et leur diamètre pour l'axe. Les uns possèdent un trou d'axe de 3 mm : ils nous serviront pour la liaison entre le pignon moteur et le pignon final. Les autres ont un trou de 2,9 mm : ils nous seront utiles comme pignon final, car une fois montés sur un axe de 3 mm, ils permettront d'entraîner la roue en sortie de réducteur.

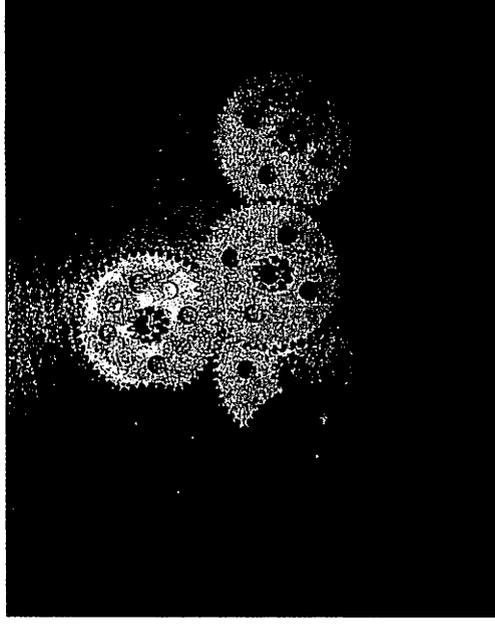


Figure 1.9 – Les pignons en question

Pour le choix du moteur, vous avez plusieurs solutions : soit vous achetez un MFA, soit vous utilisez des moteurs de récupération. Pour cette dernière récupération – sur des magnétoscopes ou sur des lecteurs de CD-Rom inférieurs – de petits moteurs à courant continu fonctionnant sous 3 V vous permettent un motoréducteur économique. Les moteurs de lecteurs de CD-Rom à 1,5 V de notre application sont les moteurs qui servent à la rotation du CD-Rom ou du tiroir de celui-ci. Profitez-en pour récupérer les autres moteurs et le:

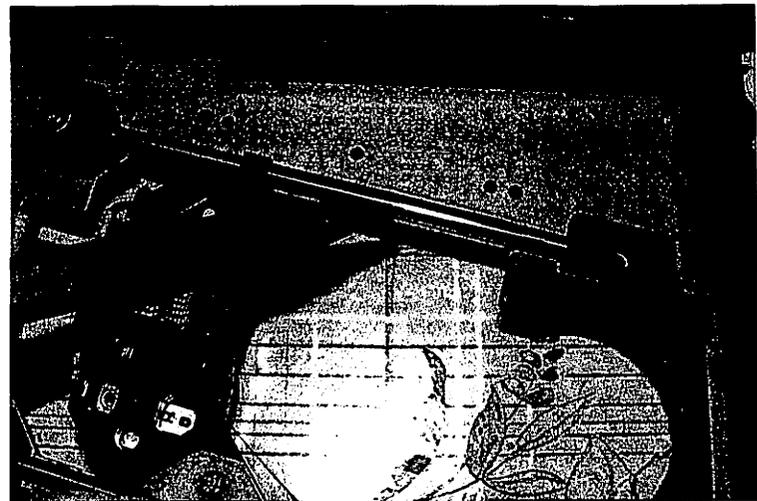


Figure 5.4 – Les petits axes du chariot de la tête de lecture sont à récupérer

Revendeurs (magasins et VPC)

Content pour vous car, à l'heure où vous lisez ces lignes, il existe quelques magasins ayant un catalogue très fourni de pièces détachées dédiées à la robotique. C'est une époque où j'aurai voulu avoir accès à tant de modules, moteurs et autres pièces. La récupération m'a toujours apporté satisfaction...

En région parisienne, je vais vous donner les magasins que j'affectionne plus particulièrement mais je ne les connais pas tous, et beaucoup d'entre eux ont fermé.

Cette liste est exhaustive, recense les plus connus ou ceux que je connais. Je suis preneur pour vos nouvelles adresses !

- **SELECTRONIC** (Lille et comptoir à Paris 12^e : place de la Nation)
Enseigne sérieuse et connue. Magasins sur Lille et Paris (pas de VPC à Paris). Pièces spéciales robotiques.
Site internet : www.selectronic.fr
- **LEXTRONIC** (Comptoir en RP94 : La Queue-en-Brie)
Enseigne tout aussi sérieuse. VPC. Pièces spéciales robotique. Importateur exclusif sur pas mal de produits.
Site internet : www.lextronic.fr
- **CONRAD** (Boutique et VPC Lille)
Moteurs – Transmissions
Site internet : www.conrad.fr
- **MOTOR MODEL** (boutique : Montreuil-sous-Bois et VPC)
Le spécialiste du moteur en région parisienne. Grand choix de moteurs, motoréducteurs et transmissions diverses, de kits de construction Meccano et pièces détachées associées. Une mine d'or !
Site internet : www.motor-model.com
- **ECE** (Paris 12^e et VPC)
Site internet : <https://web1.ibcfrance.fr/>