

CODEUR 15 VOIES, PROPORTIONNELLES.

INTRODUCTION:

Voici la description d'un codeur 15 voies proportionnelles dont l'utilisation est principalement réservée au domaine du modélisme. Le codage est compatible avec les servomoteurs du commerce. Bien entendu, d'autres applications pourront être envisagées et adaptées suivant les besoins. Son utilisation principale est destinée à piloter un émetteur de radiocommande, mais il est aussi envisageable d'effectuer une liaison filaire à trois conducteurs. Avec quelques modifications, il est possible de placer ce codeur à bord d'un appareil, et de transmettre simultanément la position de 15 capteurs potentiométriques ou autres. Les lectures pourront se faire sur le port RS232 d'un ordinateur, ou sur un module portable à microcontrôleur. Ceci fera peut-être l'objet d'une autre étude. Le mois prochain, nous étudierons le décodeur 15 voies.

Principe du codage:

Rappelons tout d'abord que le signal à l'entrée d'un servomécanisme est un créneau variant d'environ 1 à 2 millisecondes. Le point milieu, appelé neutre, se situe à peu près à 1.5 millisecondes. Le codage de plusieurs voies nécessitera un signal de synchronisation, ainsi que des tops de séparation.

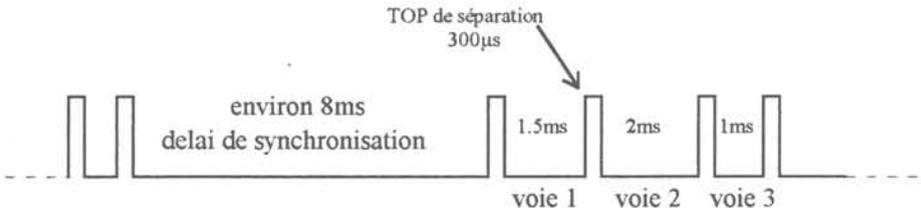


FIGURE 1.

Le signal débute par un délai de synchronisation qui peut varier d'un constructeur à l'autre, et il n'est pas étonnant de trouver des valeurs totalement différentes de 8 millisecondes.

Nous trouvons ensuite un premier top de séparation (approximativement 300 microsecondes), puis le créneau de la voie numéro 1 (Voir figure 1). Viennent aussitôt, le second top et la voie numéro 2... La durée d'une voie correspond à la largeur du créneau, additionnée du top de séparation.

Suivant le type de modulation employée, ce signal peut être totalement retourné. L'état haut devient l'état bas et inversement. Sur la carte, plusieurs sorties sont proposées à cet effet.

SCHEMA SYNOPTIQUE:

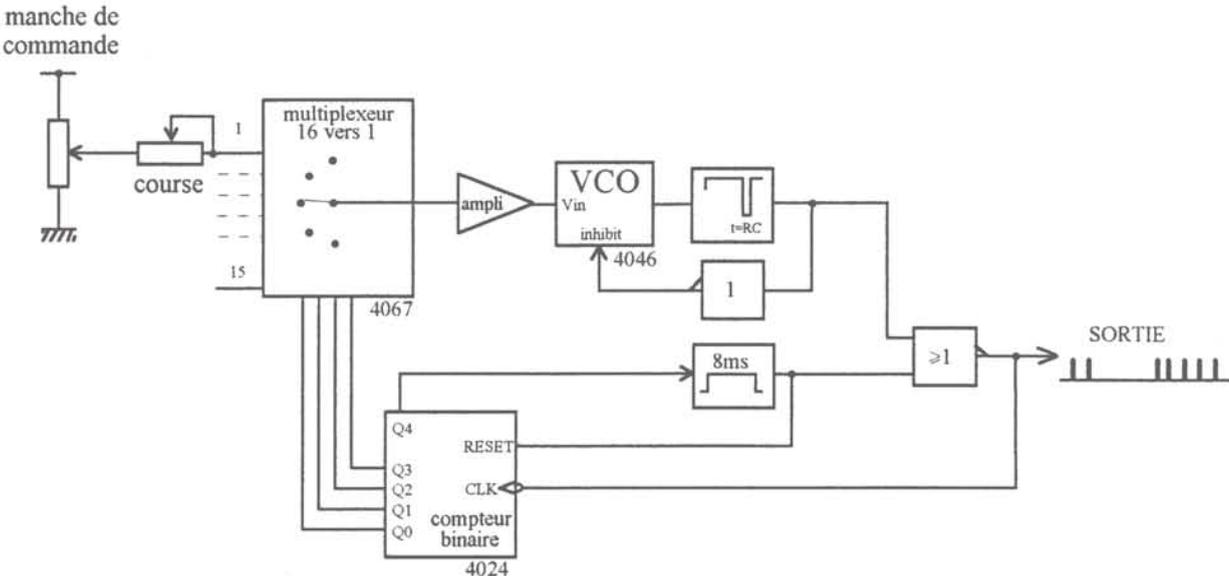


FIGURE 2.

Chaque voie est composée de deux potentiomètres (voir figure 2). Le premier est le potentiomètre principal, ou un manche de commande, dont la tension au curseur est la copie linéaire de sa position angulaire. Le second est un potentiomètre ajustable, qui permet le réglage de la course, c'est à dire l'écart de tension injectée à l'entrée du VCO 4046 (oscillateur commandé en tension).

Un multiplexeur analogique 4067 (voir brochage figure 5), 16 vers 1, sélectionne la tension d'une voie à coder. Cette tension après remise en forme attaque le VCO qui délivre un créneau proportionnel. Le front descendant de ce créneau déclenche un monostable qui génère le signal de séparation des voies tout en inhibant le VCO. Ce signal inversé par la porte NOR de sortie, incrémente le compteur binaire 4024. Le multiplexeur va alors lire la tension suivante, l'envoyer au VCO, et ainsi de suite...

La sortie Q4 du compteur passe à l'état logique haut à l'adresse 16, c'est à dire juste après la 15ème voie. Le multiplexeur se retrouve alors sur l'entrée 0 (voir tableau 1).

Numéro de l'entrée sélectionnée	Q4	Q3	Q2	Q1	Q0	
0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	1	→1ère voie
2	0	0	0	1	0	
...	
14	0	1	1	1	0	
15	0	1	1	1	1	→15ème voie
0	1	0	0	0	0	

TABLEAU 1.

Le monostable délivre le signal de synchronisation d'environ 8 millisecondes. Le compteur 4024 reçoit à cet instant un signal RESET qui le bloque à zéro. Le multiplexeur reste donc sur l'entrée zéro, le VCO délivre encore son signal, mais ce dernier ne passe pas en sortie, puisque le créneau de synchronisation devient prioritaire au niveau de la porte NOR. Dès que les 8 millisecondes sont passées, le compteur envoie l'ordre de lecture de l'entrée numéro 1...

L'entrée 0 étant sollicitée au même instant que le signal de synchronisation, celle-ci ne sera donc pas utilisable. Il reste alors 15 voies proportionnelles à coder.

De ce principe, nous pouvons en déduire, qu'en plaçant plusieurs multiplexeurs en cascade, et en connectant l'entrée du monostable 8ms, sur la broche n°3 (Q6) du 4024, nous obtiendrons un codage de 63 voies proportionnelles!

ETUDE DU SCHEMA:

Tout d'abord, étudions la partie potentiomètre de commande→multiplexeur→ampli opérationnel (AOP). Tout réside en fait autour de IC1. Celui-ci est un amplificateur inverseur avec correction de gain (figure 3). Sur ce schéma, nous négligeons la faible résistance interne de IC3 (multiplexeur analogique 4067).

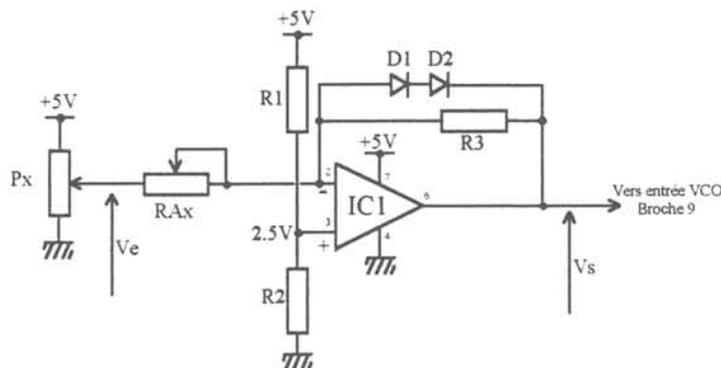


FIGURE 3.

Le potentiel de la broche 3 de IC1 est fixé à 2.5V, par le diviseur R1/R2, il correspond au 0V de l'AOP IC1. En supposant les diodes D1, D2 inexistantes, le gain du montage serait:

$$V_s = -V_e \cdot R_3 / R_{Ax}$$

La tension V_e varie de 0 à +5V, le point milieu se situant à 2.5V. Lorsque les potentiels des deux entrées de l'AOP sont identiques (2.5V), la tension V_s restera constante quel que soit le gain, c'est à dire quel que soit la position de R_{Ax} . Le neutre restera donc toujours le neutre. Par contre dès que V_e aura une valeur différente de 2.5V, le décalage entre les deux entrées de l'AOP sera amplifié. Le potentiomètre ajustable R_{Ax} , réglera donc la valeur minimale et maximale de V_s , autour de 2.5V. C'est donc ce potentiomètre qui permettra d'ajuster la course du servomoteur, en fonction des positions extrêmes de P_x .

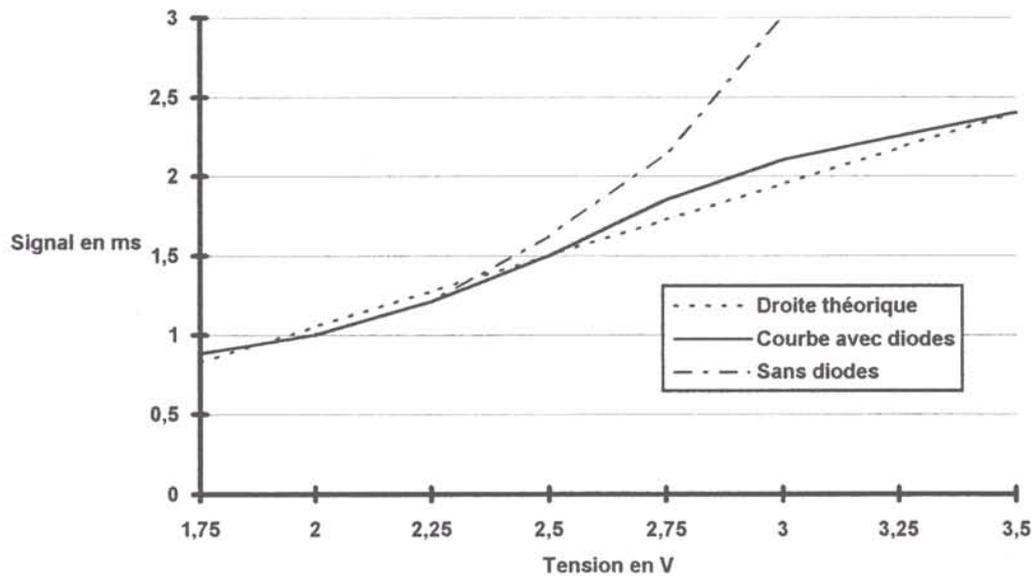
La valeur des potentiomètres P_x est peu critique. L'essentiel étant d'avoir une variation égale autour de 2.5V, il faudra donc impérativement qu'ils possèdent une variation linéaire. Les manches de commande $5K\Omega$ que j'ai utilisé varient de $2K\Omega$ à $3K\Omega$ environ, la valeur centrale étant à $2.5K\Omega$, cela ne pose aucun problème. Il est toutefois conseillé de retenir des valeurs beaucoup plus grandes. En effet, ceux-ci étant connectés directement entre le +5V et la masse, plus leur valeur sera élevée, plus la consommation du montage sera faible.

L'étage VCO (IC2, 4046) est utilisé dans sa configuration la plus simple. Il convertit la tension d'entrée en une fréquence, suivant une courbe linéaire.

Le problème est que l'on doit générer des temps (T) en millisecondes, et non des fréquences (f) en Hertz. Or la relation temps/fréquence $T=1/f$ montre que la courbe n'est plus linéaire. C'est ici qu'interviennent les diodes D1 et D2 autour de l'AOP. C'est une approximation simplifiée de la courbe pour des valeurs supérieures à 2.5V, en considérant que les valeurs inférieures se trouvent dans une zone sensiblement linéaire. Attention, ce sont deux diodes germanium montées en série. Pas question d'utiliser des diodes silicium, ni même de les remplacer par une seule diode silicium.

Certains diront que cette approximation est un peu osée, mais elle s'avère très efficace dans la partie de la courbe qui nous intéresse (Voir figure 4).

FIGURE 4: signal de sortie du VCO en millisecondes, en fonction de la tension curseur du potentiomètre.



C7, R4 et RA16 déterminent la fréquence d'oscillation du VCO. RA16 permet d'ajuster la fréquence centrale de la position neutre, lorsque la sortie de l'AOP IC1 est à 2.5V.

La sortie de ce VCO (point test "A"), entre dans un monostable constitué de IC4/1, IC4/3, R5 et C8, qui délivre les tops de séparation. Ce signal après inversion par la porte IC4/2, va réinitialiser IC2. Il entre au même moment dans la porte IC5/2 qui l'inverse. La sortie de cette porte NOR va incrémenter IC6. Le compteur lira donc l'entrée suivante. Lorsque la sortie Q4 passe à +5V, elle déclenche le monostable (IC5/3, IC5/4, R6, C9) qui en générant son signal de synchronisation de 8ms bloque la porte IC5/2 (point test "Sy"). Sa sortie, broche 4, restera donc à l'état logique bas durant ces 8ms. Par la même occasion, un signal de remise à zéro est envoyé sur la broche 2 du compteur IC6. (Voir figures 6 et 14).

La carte dispose de 3 sorties. Les sorties 1 et 3 sont inversées l'une par rapport à l'autre, ce qui permet de choisir le type de modulation (normale ou inversée). La sortie 2 permet par l'intermédiaire de la self L1 de piloter directement un émetteur HF. Dans ma réalisation L1 sera connectée sur la sortie 1, car elle pilote un émetteur qui possède une entrée inversée. Le choix peut se faire aisément sur le circuit imprimé, puisque deux emplacements sont prévus pour la self. L'injection de la sortie 3 permettra de tester directement le décodeur.

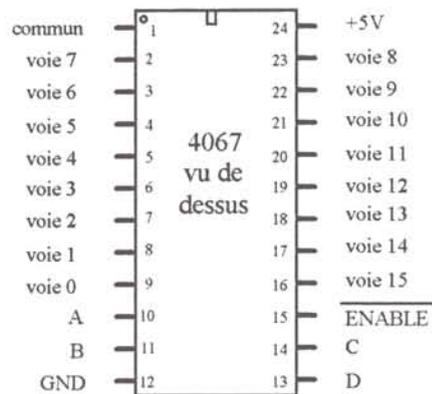
La partie alimentation est on ne peut plus simple. IC7 stabilise la tension à +5 volts. C10 et C11 participent au filtrage.

FIGURE 5.

Brochage de IC3, multiplexeur analogique 4067.

A, B, C, D sont les 4 bits d'adressage.

ENABLE est l'entrée de validation du boîtier.



MONTAGE, MISE AU POINT:

Souder en premier lieu tous les picots de connexions et les points de tests. (Voir figure 11). Placer ensuite les résistances fixes et ajustables, les condensateurs et les diodes, en prenant soin de respecter leur sens. Sur le circuit imprimé, l'anneau des diodes représentant la cathode, est dirigé vers le haut.

Monter le régulateur 5 volts 7805, IC7. Alimenter le circuit sous 12 volts environ et vérifier la présence du +5V. Mesurer une tension voisine de 2.5V au point test près de IC1. Si tout est correct, débrancher la source d'alimentation et souder tous les autres circuits intégrés. Attention au sens des ergots.

Pour la mise au point, connecter une résistance d'essai de 10KΩ entre la broche 8 de IC3 (entrée numéro 1 du 4067), et la broche 3 de IC1 (point test "+2v5" du 741).

Le principe consiste à injecter directement la sortie numéro 3 du codeur, dans l'entrée test du décodeur 15 voies (ou d'un décodeur compatible), un servomécanisme étant connecté sur la sortie numéro 1 de ce dernier.

Après avoir alimenté l'ensemble complet, il suffit d'ajuster RA16, pour obtenir la position centrale du servomécanisme. Voilà c'est tout! Vous pouvez maintenant supprimer la résistance d'essai de 10KΩ.

Pour ceux qui ont la chance de posséder un oscilloscope, connecter la voie B au point test "Sy". Synchroniser l'oscilloscope sur le front montant. Vous devez observer le signal synchronisation d'environ 8ms. Synchroniser maintenant l'oscilloscope sur le front descendant, et connecter la voie A sur le point test "A". Vous observez alors le signal de sortie du VCO, donc la durée de chaque voie. Si vous connectez la voie A de l'oscilloscope sur la SORTIE 3 du codeur, vous observerez la totalité du signal. Vous pourrez alors régler plus facilement la valeur du neutre, en connectant la résistance de 10KΩ sur la voie 1, comme indiqué ci-dessus. Si vous avez câblé le circuit imprimé N°2, vous constaterez alors l'évolution des signaux en fonction de la position des potentiomètres. Voici pour exemple, en figure 6, les chronogrammes relevés.

Problèmes rencontrés:

-Etant donnée la dispersion des caractéristiques des régulateurs 7805, vous pouvez obtenir des valeurs comprises entre 4.8V et 5.2V. La tension obtenue par le pont diviseur R1/R2 variera alors de 2.4V à 2.6V environ, sans prendre en compte la tolérance des résistances. Le VCO s'en trouvera donc décalé, et il est possible, dans de rares cas, que le réglage du neutre devienne impossible. Dans ce cas, vous pouvez augmenter la valeur de RA16.

-La durée des tops de séparation est fixée par R5 et C8. Si vous désirez modifier ces valeurs en cas d'adaptation, sachez simplement qu'une valeur mal adaptée peu entraîner des perturbations ou des risques de frémissement des servomoteurs.

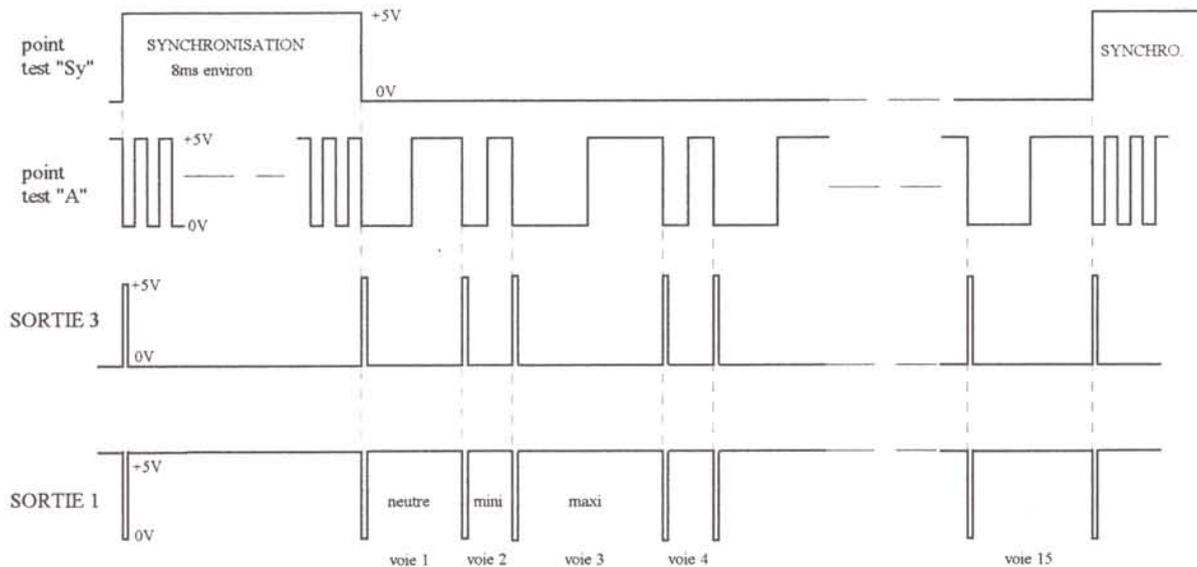


FIGURE 6.

Circuit imprimé N°2: (Figures 12 et 13, et voir aussi figure 14 en haut à gauche.)

Construit en trois exemplaires, il permettra de raccorder les 15 voies au codeur. Un condensateur de filtrage de 100nF est ajouté. Sur le circuit, le symbole "x" représente le numéro de la voie, le symbole "x+1" représente la voie suivante etc... Connecter toutes les sorties x aux voies de IC3 (4067) correspondantes. Relier aussi la masse (GND) et le +5V. Regrouper tous les fils sous forme de toron ou utiliser du câble nappe. Chaque potentiomètre ou manche de commande sera relié par un petit connecteur 3 broches (indiqué "vers Px" sur le circuit imprimé). Pour les modélistes, il aura son importance puisqu'en le retournant, on obtiendra l'inversion de sens de rotation du servomoteur concerné. Par contre, il est impératif de relier le curseur du potentiomètre à la broche centrale du connecteur.

OPTION TRIM ELECTRONIQUE: (Figure 7)

Les manches de commande possèdent en général un TRIM. C'est une petite mollette qui permet, lorsque le manche est au repos, d'ajuster précisément la position du neutre. Ce trim est parfois couplé mécaniquement au manche de commande, mais il est possible d'adapter des TRIMS ELECTRONIQUES.

Comme pour les manches de commande, la valeur de PT a peu d'importance. La valeur de RT dépend de PT et du dosage que l'on veut obtenir. Le mieux est d'effectuer quelques essais. Pas besoin de circuit imprimé.

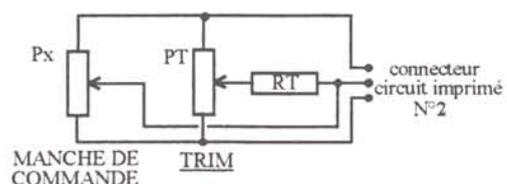


FIGURE 7.

OPTION VOIE TOUT OU RIEN: (Figure 8)

En fait c'est un interrupteur inverseur qui bascule les positions extrêmes 1 ou 2ms, voire une position intermédiaire à 1.5ms.

A la réception, la sortie concernée du décodeur pourra être connectée à un module "tout ou rien" permettant de piloter un ou plusieurs relais.

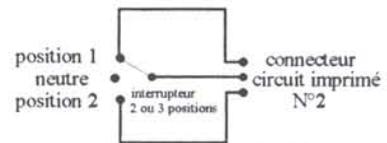


FIGURE 8.

OPTION DOUBLE COURSE: (Figure 9)

Très utile. Permet d'obtenir deux courses différentes sur une même voie. Lorsque l'interrupteur Ix est en position 1, la course la plus grande est réglée par RAx, sur le circuit imprimé numéro 2. En position 2, la course est réduite (donc plus précise) à l'aide de PCx (100KΩ). Cette position permet par exemple, de compenser les gestes trop brusques d'un débutant en aéromodélisme.

Plus PCx aura une valeur élevée, plus la course sera grande.

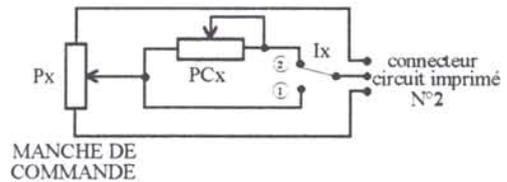


FIGURE 9.

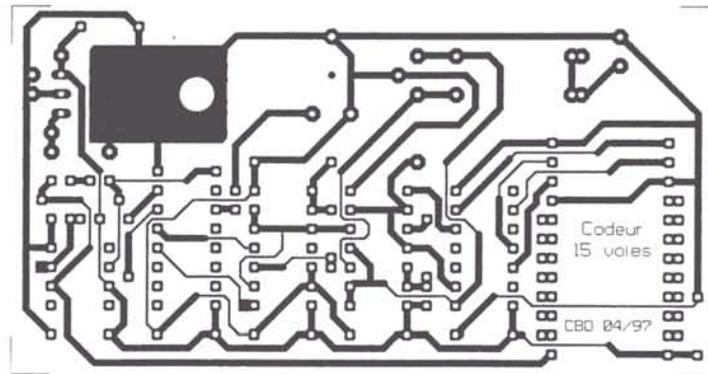


Figure 10. Circuit imprimé côté cuivre.

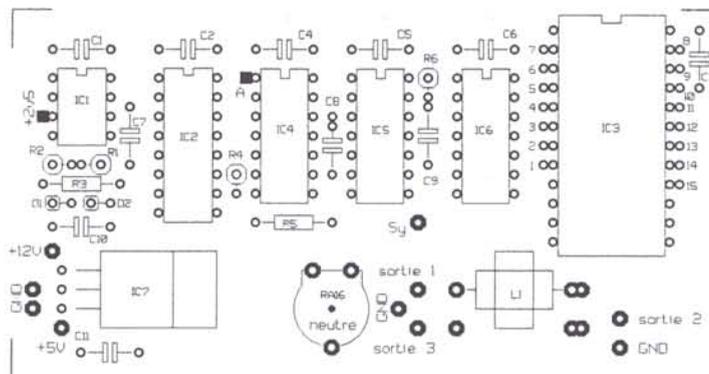


Figure 11. Circuit imprimé côté composants.

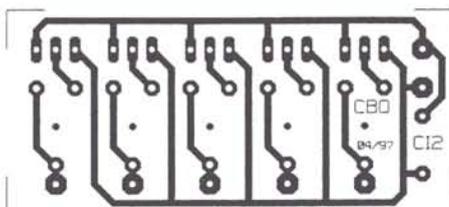


Figure 12. Côté cuivre.

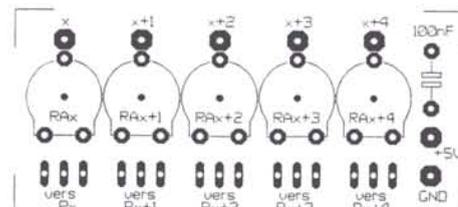


Figure 13. Côté composants.

CIRCUIT IMPRIME N°2.

Conclusion:

Le nombre de voies peut paraître élevé, mais il vous laisse suffisamment de marge pour connecter toutes vos options ou gadgets divers, que se soit en aéromodélisme ou en modélisme naval. Pour ma part, je me suis construit un boîtier sur lequel j'ai réussi à placer 13 voies proportionnelles, 2 voies tout ou rien, et 3 modules double course.

L'ensemble fonctionne très bien, et on parvient même à piloter deux maquettes avec un seul codeur et une unique tête H.F. Dans chacune d'elle, il suffit de placer un récepteur de fréquence identique, mais décodant des voies différentes. Ainsi, par exemple, les voies 1 à 8 pilotent le premier modèle réduit, et les voies 9 à 15, le second. Bien entendu il faudra posséder 4 manches de commandes répartis sur deux boîtiers, dont le principal contiendra le codeur et la tête H.F. Le deuxième boîtier connecté sur le premier, ne contiendra donc pas d'électronique, mais uniquement les manches de commandes, ou potentiomètres, des voies 9 à 15. Pourquoi pas ???!!!

Concernant la tête H.F., à vous de choisir. Au début, je fonctionnais avec un émetteur 27 MHz de récupération, et actuellement je pilote une tête H.F. 41MHz FM.

A titre de curiosité, j'ai essayé les modules que l'on trouve de plus en plus facilement dans les magasins d'électronique. Ce sont des modules émission et réception 433 MHz AM ou FM, genre "MIPOT", que l'on trouve parfois à moins de 200 francs les deux. Malgré la faible portée, le fonctionnement reste parfait...

M. BOURRIER Christophe

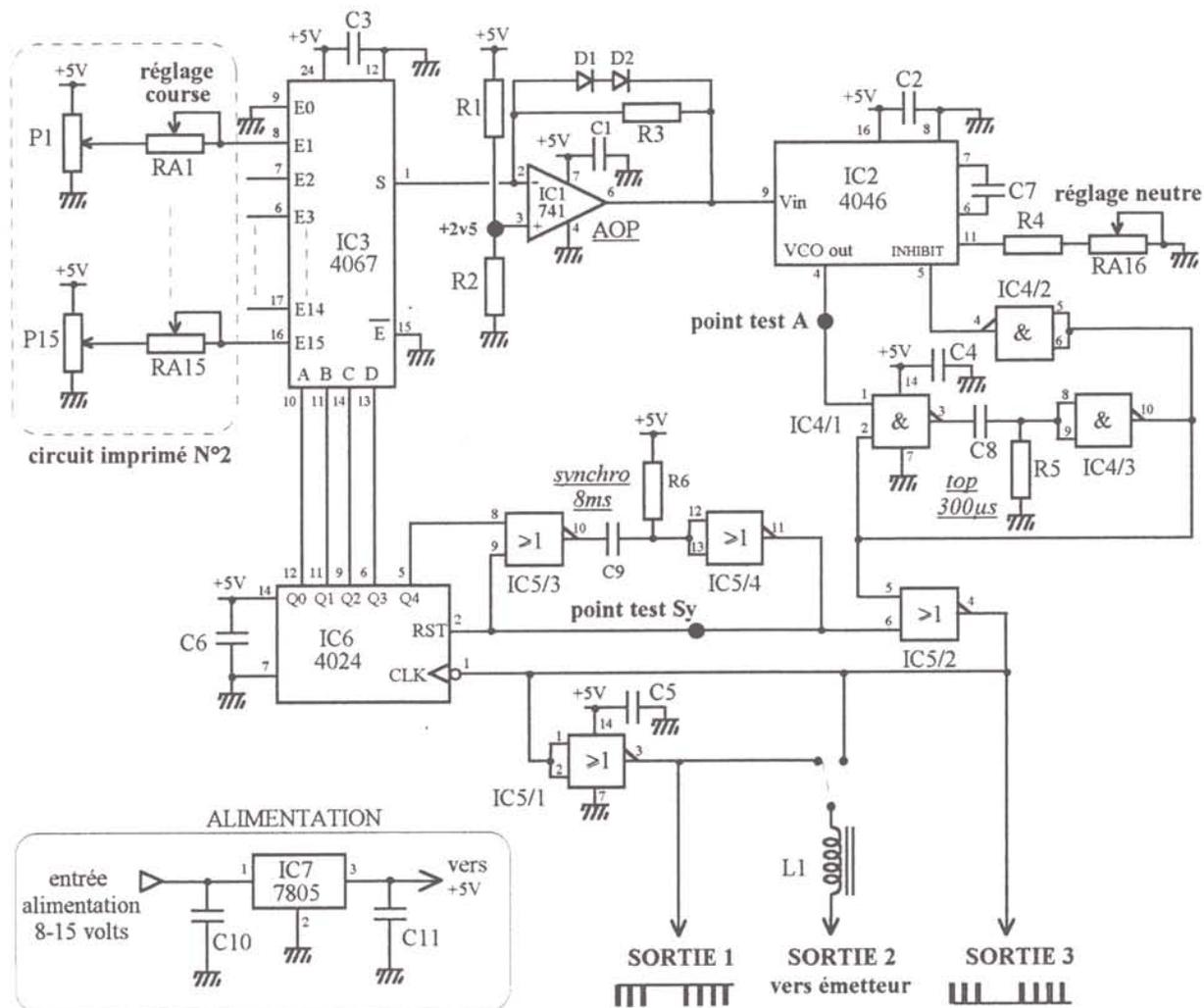


FIGURE 14.

NOMENCLATURE DES COMPOSANTS

CIRCUIT IMPRIME PRINCIPAL:

CIRCUITS INTEGRES:

- IC1: AOP de type 741
- IC2: 4046
- IC3: 4067
- IC4: 4011
- IC5: 4001
- IC6: 4024
- IC7: 7805

DIODES:

- D1, D2: diodes germanium AAZ15 ou équivalentes.

CONDENSATEURS:

- C1, C2, C3, C4, C5, C6, C10, C11: 100nF
- C7: 100nF
- C8: 10nF
- C9: 100nF

SELF:

- L1: self de choc de type VK200

RESISTANCES:

- R1, R2, R3: 10KΩ 1/4W
- R4: 1,5KΩ 1/4W
- R5: 47KΩ 1/4W
- R6: 100KΩ 1/4W

(Prévoir une résistance de 10KΩ pour les essais).

POTENTIOMETRES AJUSTABLES:

- RA16: 22KΩ ou 47KΩ horizontal

CIRCUIT IMPRIME N°2:

3 CONDENSATEURS 100nF

POTENTIOMETRES AJUSTABLES:

- RA1 à RA15: 100KΩ horizontal

POTENTIOMETRES:

- P1 à P15: 5KΩ à 220KΩ LINEAIRE (+ connecteurs 3 broches males et femelles)