

9F

Novembre 1978

LE HAUT-PARLEUR

16 37

SPECIAL RADIOCOMMANDE



SUISSE: 3,50 FS ● ITALIE: 1700 LIRE ● ESPAGNE: 200 PES ● CANADA: 1,75 SC ● ALGÉRIE: 9 DIN ● TUNISIE: 900 MIL

ISSN. 0337-1883

UN SERVO TEST AUTOMATIQUE

LE servo-mécanisme est un élément essentiel de la chaîne RC digitale proportionnelle. Comportant à la fois de l'électronique et de la mécanique, il en constitue souvent le « talon d'Achille ».

L'utilisateur en exige beaucoup :

- Puissance, et il en faut pour manœuvrer les gouvernes soumises aux poussées considérables du fluide dans lequel se meut une maquette, ayant une fâcheuse tendance actuelle au gigantisme.
 - Précision, pour garantir des figures bien définies ou des trajectoires de déplacement parfaitement déterminées.
 - Absence de jeu, éliminant les corrections continues de l'électronique d'asservissement.
 - Consommation réduite, pour sauvegarder l'autonomie.
 - Solidité, vitesse de déplacement, etc.
- Chaque constructeur indique les performances de ses modèles et s'il sait que l'acheteur n'a pas les moyens de mesure suffisants, il n'hésite pas à faire preuve d'un bel optimisme !

Par ailleurs, l'amateur réalisant ses propres servos, ou du moins équipant en électronique une mécanique achetée, voudrait bien chiffrer les résultats obtenus et apprécier ainsi la qualité de sa réalisation.

C'est dans ce but que nous avons conçu le petit montage qui fait l'objet de ces lignes. Avec le servo-test décrit, vous pourrez mieux définir les qualités et défauts des servos utilisés.

Un dernier point : les pannes intermittentes, si difficiles à déceler, car il faut beaucoup de patience, pour actionner le mécanisme jusqu'à apparition du défaut, seront soumises au régime automatique. Il restera à attendre, en s'occupant par ailleurs, que le mal se déclare !

- I - ETUDE THÉORIQUE

Voir le schéma de principe en figure 1.

Par une sorte de défi, nous avons voulu faire un montage 100 % C.MOS ! On peut constater que l'objectif a été atteint !

Nous commencerons par l'étude du fonctionnement en « manuel », plus simple.

1. Régime « manuel »

Les inverseurs I_5 et I_6 constituent un multivibrateur oscillant à 50 Hz environ. La sortie 8 fournit un créneau rectangulaire appli-

qué à l'entrée d'un monostable bâti avec les portes NOR, P_1 et P_2 . Le monostable déclenché par le front avant du signal précédent, délivre une impulsion de même récurrence 50 Hz, et de durée fixée par la constante de temps assurant la liaison entre P_1 et P_2 . La sortie 3 délivre une impulsion positive de 1 à 2,5 ms environ. Cette durée dépend de $C_2 = 1\ 220$ pF (1 000 et 220 pF en parallèle), de $R_2 = 820$ k Ω + 180 k Ω + 50 k Ω $A_j = 1$ M Ω , et enfin de la tension positive V appliquée à l'extrémité de R_2 par le potentiomètre P . C'est finalement la variation de V par P qui donnera la variation de t . Nous avons sensiblement

$$t = k \cdot R_2 \cdot C_2 \cdot V$$

Remarquons le rôle de la 50 k Ω A_j (P'):

$$\frac{50 \text{ k}\Omega}{1 \text{ M}\Omega} = 5 \%$$

Pour une position quelconque de P , la rotation de P' provoquera une variation du temps t de 5 % ou de $\pm 2,5$ %, si l'on se réfère à la position centrale. P' sera ainsi affecté à la mesure de la précision du servo.

Le servo étant amené au neutre par P , l'action sur Inv_1 ou sur Inv_2 , perturbe la tension V , en la rendant plus positive ou moins

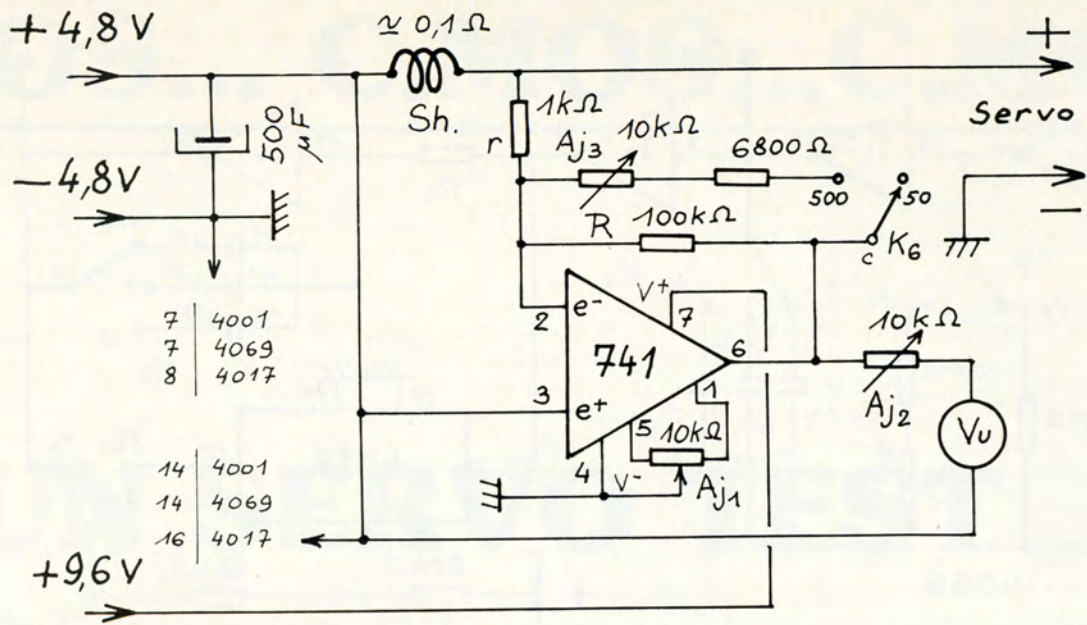


Fig. 2. - Mesure de l'intensité.

l'autre. C'est la situation permettant de mesurer la vitesse du servo-mécanisme.

Cette vitesse correspond à une certaine fréquence f du signal rectangulaire. Pendant une période T ($T = 1/f$) le servo fait un aller et un retour. La durée d'une course est $1/2 T$. En fait, ici la commande de fréquence du signal rectangulaire est graduée directement en durée de course, évitant tout calcul !

Mais voyons la génération de ce signal rectangulaire : à l'origine, encore un multi-vibrateur constitué de deux inverseurs

C.MOS, I_1 et I_2 . La constante de temps $R_1 \cdot C_1$ détermine la fréquence. C_1 peut varier de 10 en 10. (10 nF, 0,1 μ F, 1 μ F) R_1 est variable par P' de 100 k Ω à 1,1 M Ω , donnant un rapport voisin de 11 ce qui assure un recouvrement correct des gammes. Avec le 1 μ F, la fréquence varie ainsi de 0,4 à 5 Hz environ. C'est encore trop élevé pour les servos à tester. Mais nous ne voulons ni dépasser la valeur 1 μ F maximum de MKM de Siemens (garantissant 5%) ni 1 M Ω pour le potentiomètre (valeurs supérieures introuvables !).

Par ailleurs le créneau délivré n'a pas un

rapport cyclique égal à 1, l'une des alternances étant toujours plus longue que l'autre. C'est gênant, car les courses aller et retour n'auraient pas la même durée.

Les deux difficultés ont été tournées simultanément par l'adjonction d'une décade 4017, divisant la fréquence par 10 et donnant cette fois un signal parfaitement carré. Les fréquences obtenues dans les trois gammes sont :

- « X10 » de 0,04 Hz à 0,5 Hz
- « 1 » de 0,4 Hz à 5 Hz
- « : 10 » de 4 Hz à 50 Hz.

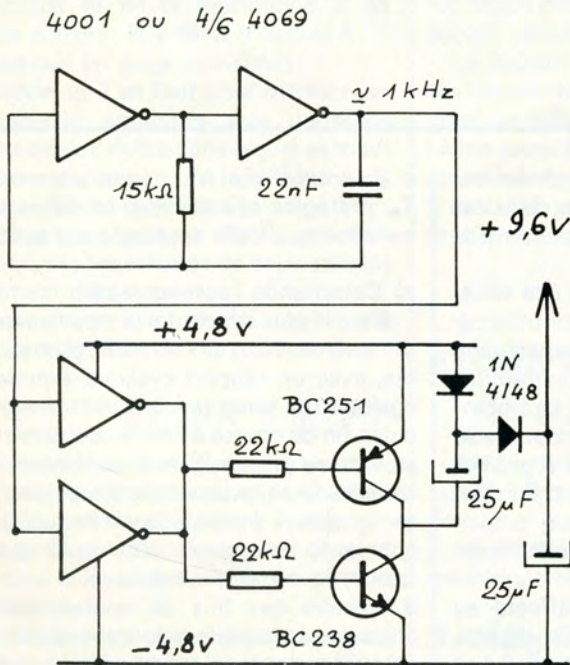


Fig. 3. - Un exemple de doubleur de tension.

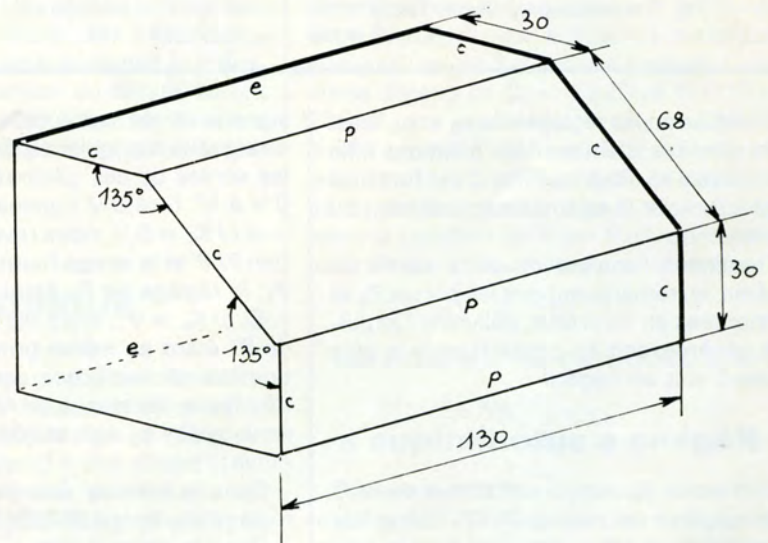


Fig. 4. - Le boîtier du Servo-Test.

Les vitesses de courses correspondantes et qui graduent P' sont :

- « X10 » de 1 s à 12 s
- « 1 » de 0,1 s à 1,2 s
- « : 10 » de 0,01 à 0,12 s.

La gamme usuelle de mesure étant la « 1 » c'est celle qui donnera la graduation tracée sur la face avant, (voir photo) et qui explique les multiplicateurs choisis.

b) Commande triangulaire

Cette variation donne un déplacement régulier du servo-mécanisme, à vitesse constante, soit pour essais d'endurance, soit pour tester la qualité du mouvement. En effet un servo de bonne qualité donne un déplacement en douceur, sans à-coup. Aux vitesses les plus lentes, le mouvement ne devant faire apparaître aucune saccade.

P' est remplacé par une résistance fixe de 30 M Ω , donnant une fréquence à peu près 30 fois plus faible, mais toujours commutable par K₁. Le signal rectangulaire issu de I₂ est inversé par I₃, indispensable pour que le triangle soit symétrique, puis envoyé sur I₄ monté en intégrateur et dont la sortie donne le signal triangulaire désiré. En principe, avec la 10 M Ω pour l'intégration et la

30 M Ω pour le multivibrateur, et une même valeur de C, le triangle va bien de 0 V à V+.

Il faut donc commuter C₃ en même temps que C₁. Les trois vitesses obtenues sont :

- « X10 » 1 course en 25 s
- « 1 » 1 course en 2,5 s
- « : 10 » 1 course en 0,25 s.

3 Mesure de l'intensité

Il est particulièrement important de mesurer l'intensité consommée par le servo sous test, tant au repos qu'en charge. Ces caractéristiques conditionnent à la fois l'autonomie du système embarqué et le rendement devant l'effort. Nous avons donc voulu incorporer un ampèremètre dans le servo-test. Mais ces appareils sont rarement bons, jamais parfaits, car ayant toujours une résistance interne trop grande. C'est particulièrement le cas du modèle choisi : un petit « vu-mètre » médiocre sur ce plan. L'introduction d'une telle résistance en série avec le servo, perturbe celui-ci et au minimum en réduit la puissance. Nous voulions aussi deux gammes de mesure :

50 mA pour la consommation au repos et 500 mA, pour la consommation en charge. D'où des commutations en perspective au niveau des shunts : mauvais... !

Tous ces problèmes ont été tournés par l'utilisation d'un montage à ampli opérationnel. C'est un classique 741 monté en ampli inverseur de gain. Voir figure 2.

Le gain est fixé par R/r. C'est ici :

$$\frac{100 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} = 100$$

en position « 50 » d K₆ et

$$\frac{10 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} = 10$$

en position « 500 ».

Le courant servo traverse un shunt de très faible valeur et y développe une tension amplifiée par le 741. La tension de sortie en 6 est proportionnelle à l'intensité consommée. Le vu-mètre monté en voltmètre de sortie mesure la tension obtenue. Un ajustable série cale la définition en fonction du shunt utilisé et dont la valeur est assez libre. La seconde gamme est calée par rapport à la première par l'ajustage de R. (Aj₃). Notons que la commutation de gammes

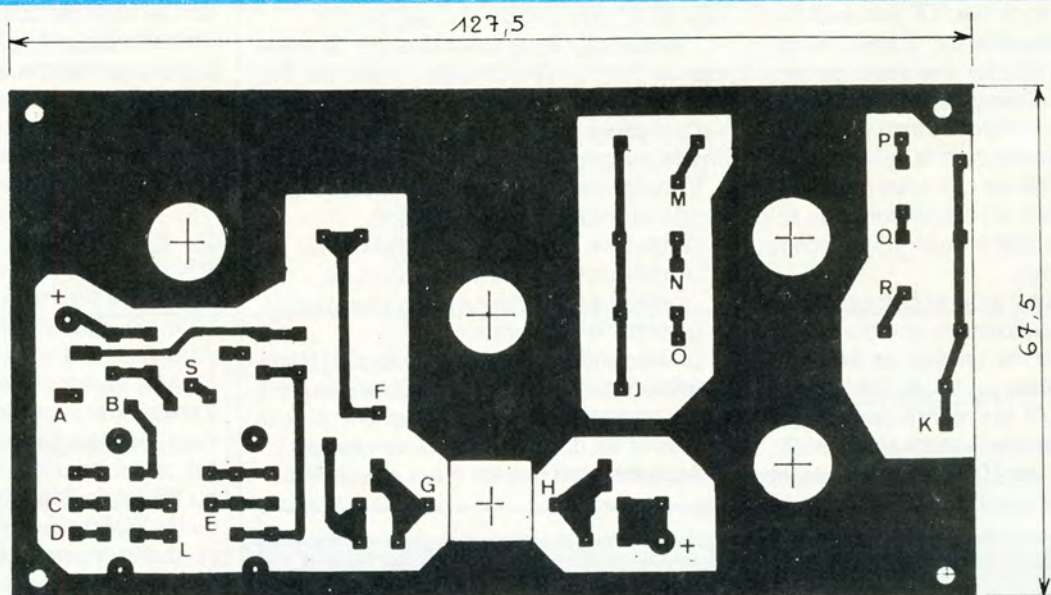


Fig. 5. - C.I. A du Servo-Test.

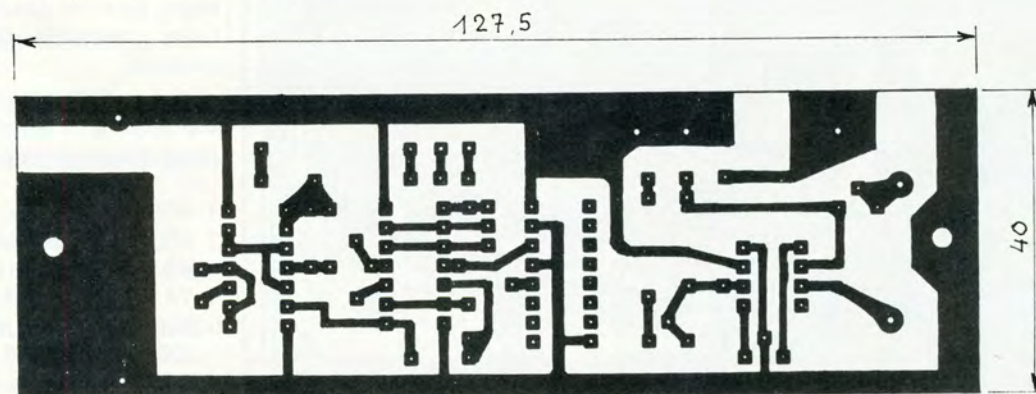


Fig. 6. - C.I. B du Servo-Test.

- II - La réalisation

Nous avons cherché une disposition pratique rendant le montage facile, tout en donnant des dimensions faibles et une esthétique satisfaisante. Voir photos. Deux circuits imprimés sont utilisés :

- Le plus important A supporte tous les composants de la face avant, rendant l'ensemble démontable d'un seul coup... ou presque.
- Le second B supporte les composants actifs. Il est fixé sur le fond du boîtier. Un certain nombre de liaisons sont à assurer entre les deux circuits, mais le tout reste démontable et permet essais ou dépannages.

1. Le boîtier

(voir figure 4).

A fabriquer en alu de 10/10. La forme en pupitre complique un peu le pliage. Commencer par rabattre les plis latéraux c, puis les rebords e et enfin plier selon p aux angles prévus. Le perçage de la face avant doit se faire par coïncidence avec A. Si vous êtes allergique au pliage de l'aluminium, vous aurez à chercher dans le commerce un coffret de dimensions au moins égales. Il y a de fortes chances pour que vous soyez obligé d'abandonner la forme en pupitre, mais le servo-test n'en marchera pas plus mal !

2. Les C.I.

Voir les figures 5 pour A et 6 pour B. A faire en époxy simple face de 15/10. Attention A a été dessiné pour un certain type de commutateur à glissière et il serait à redessiner si ce modèle n'était pas trouvé. Pour les réglages p_1 , p_2 , p_3 et p_4 , le dessin est prévu pour deux types : soit les T7YA ou P8SY de Sfernice, assez rares et chers, ou les EO86 couchés, plus faciles à trouver et meilleur marché, cependant dans ce second cas, il faudra toujours faire les réglages avec un tournevis isolant en bout, pour ne pas faire de court-circuit avec la face avant. En effet, ces réglages se font par des trous ménagés dans le boîtier. Voir photo A.

3. Liste des composants

- 1 4069 (CD 4069, SFF24069...)
- 1 4001 (CD4001, SFF24001...)
- 1 4017 (CD4017, SFF24017...)
- 1 741 (LM741, μ A741...)
- boîtier rond ou DIL 8 br.
- 1 1000 Ω 1/4 W 5 %
- 1 6800 Ω 1/4 W 5 %
- 1 33 k Ω 1/4 W 5 %
- 2 47 k Ω 1/4 W 5 %
- 3 100 k Ω 1/4 W 5 %

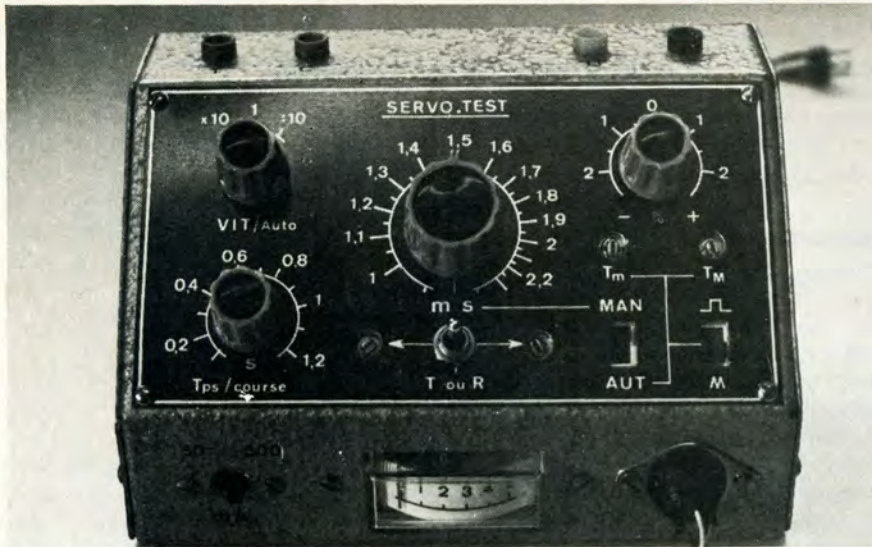


Photo A

passse totalement inaperçue au niveau du shunt et donc du servo.

Le zéro doit être calé par le réglage d'offset de l'amplificateur (par A_{j1}).

Un petit revers à cette séduisante médaille : le 741 exige à la fois une tension positive et une négative. La seconde est obtenue par la batterie 4,8 V déjà nécessaire, mais il faut ajouter une seconde tension de 4,8 V pour avoir la première. Cette seconde batterie pouvant être de très faible capacité car l'intensité qu'elle débite est de l'ordre de 1 mA. En ce qui nous concerne, nous n'avons aucun problème car nous alimentons le servo-test à partir d'une solide 12 V, 4 Ah, à prises.

Si vous répugnez à ajouter cette seconde batterie, nous vous donnons en figure 3, un montage doubleur de tension et délivrant les 9,6 V nécessaires au V^+ du 741. Nous vous signalons qu'il est même possible de supprimer les deux transistors en montant quatre inverseurs de 4069 en parallèle et

en alimentant le 25 μ F par leur sortie.

Nous avons aussi en projet un bloc d'alimentation par le secteur.

En conclusion, le servo-test décrit va nous permettre :

- Le calage des temps d'un servo, neutre et fins de course (mode manuel par P).
- L'étude de l'amortissement par la commande Tout ou Rien (mode manuel par Inv. 1/2).
- La mesure de la vitesse de déplacement (mode automatique rectangulaire).
- L'étude de la qualité du mouvement (mode automatique triangulaire).
- La mesure de la précision (par P').
- La mesure de l'intensité au repos.
- La mesure de l'intensité en charge.
- Le test de l'endurance.
- La détermination du couple fourni (Notre définition de ce couple : c'est le couple, à partir duquel le servo ne parvient plus à retrouver sa consommation de repos).

Reconnaissez que ce n'est pas si mal !

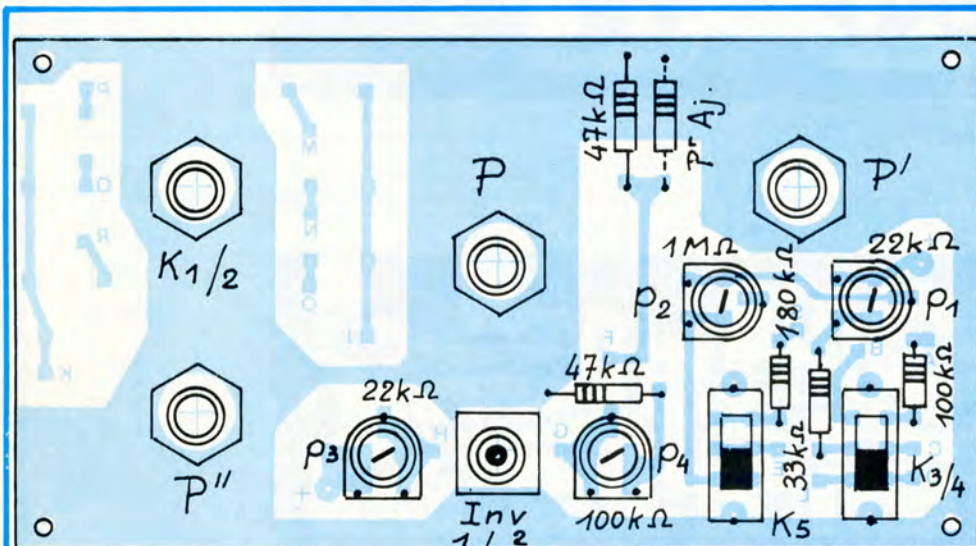


Fig. 7. - Pose des composants au recto de A.

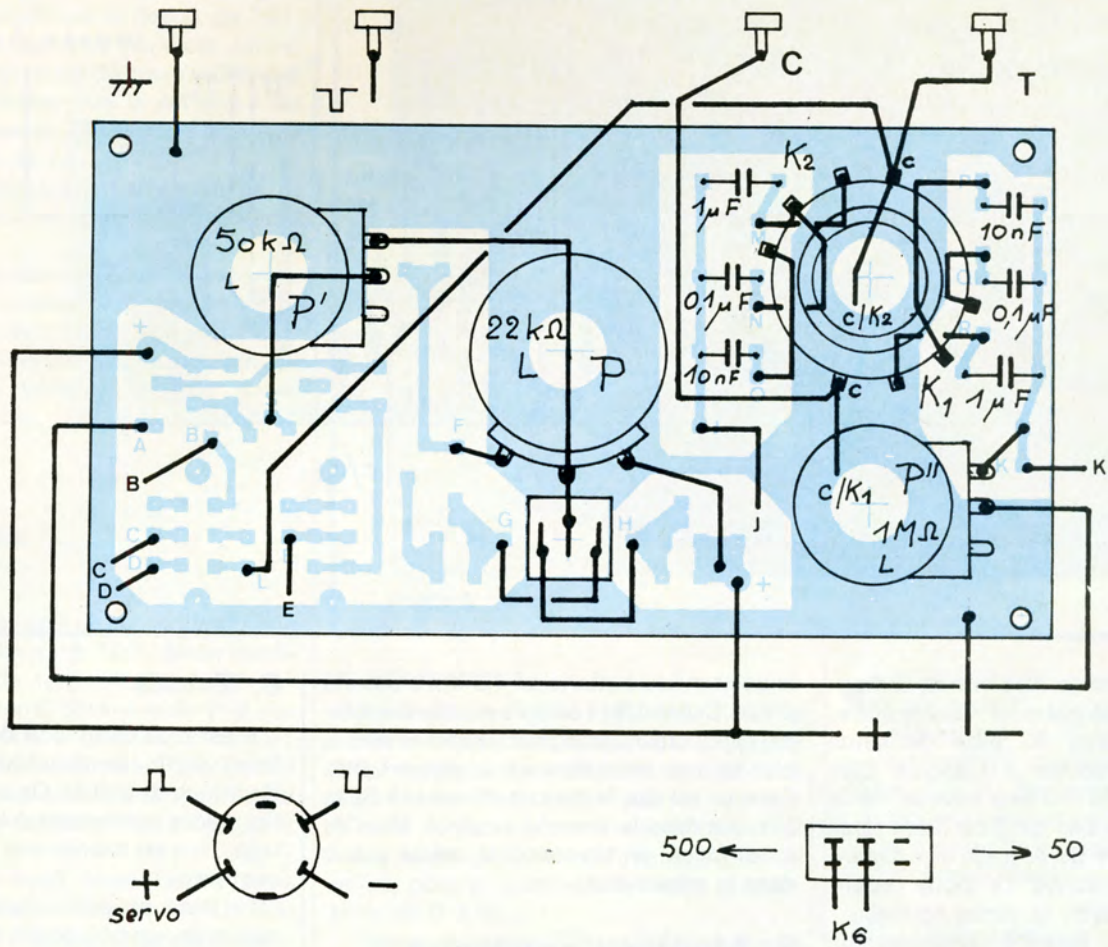


Fig. 8. - Câblage de A côté cuivre.

- 1 180 k Ω 1/4 W 5 %
- 1 820 k Ω 1/4 W 5 %
- 4 10 M Ω 1/4 W 5 %
- 1 220 pF styroflex ou mial (à ajuster éventuellement)
- 1 1 000 pF MKM ou MKH 100 V
- 2 10 nF MKM ou MKH 100 V
- 3 0,1 μ F MKM ou MKH 100 V
- 2 1 μ F MKM ou MKH 100 V
- 1 500 μ F 10 V
- 1 commutateur rotatif 2c/3 pos. 1 galette de \varnothing max 25 mm
- 1 pot. 22 k Ω linéaire. Piste moulée si possible
- 1 pot. 50 k Ω linéaire. Genre P20
- 1 pot. 1 M Ω linéaire. Genre P20
- 4 pot. Aj type T7YA ou P8SY de Sfernice ou EO86 couchés: 2 de 22 k Ω , 1 de 100 k Ω , 1 de 1 M Ω
- 3 pot. Aj type EO86 debout de 10 k Ω
- 3 inverseurs à glissière. Modèle 5 1MP de Jeanrenaud
- 1 tumbler Subm. 3 positions: repos central, 2 positions momentanées. Simple inv.
- 1 support DIN de châssis à 5 broches
- 1 bouchon DIN correspondant
- 1 Vu \bar{m} ètre
- 4 douilles de 2 mm isolées

- Fil rigide pour liaisons
- Fil souple de fort diamètre pour alimentation
- 5 cm de constantan 4/10 pour le shunt
- boîtier. face avant décor, boutons... pour mémoire.

4. Pose des composants

Circuit A : On se reportera aux figures 7 et 8. Les condensateurs C₁ et C₃ sont soudés côté cuivre, de part et d'autre du com-



Photo B

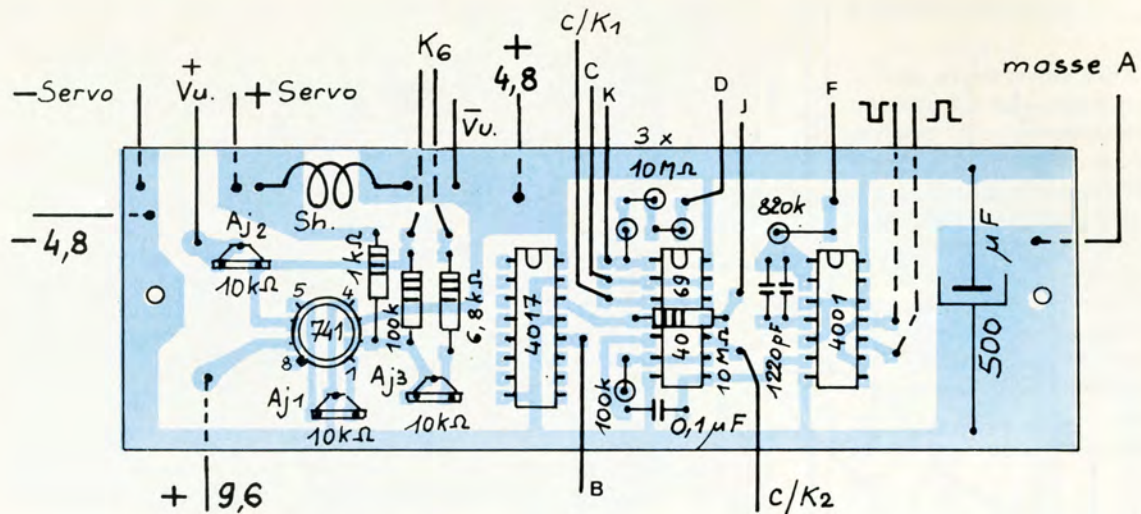


Fig. 9. - Pose des composants sur B. Liaisons.

mutateur de gammes. Les autres composants sont du côté habituel. Quatre entretoises taillées dans du tube de laiton 2/3 mm sont à souder aux angles. Elles maintiendront A à 10 mm environ de la face avant. Le tumblér de T ou R est forcé dans un trou carré de A, juste aux dimensions du modèle trouvé. Le munir cependant du contre-écrou et écrou normal.

Circuit B : Voir figure 9. Attention aux C.MOS (refrain connu !). Souder toutes les liaisons nécessaires en prévoyant un peu plus que nécessaire. Souder aussi les fils d'alimentation. A noter que nous n'avons envisagé que l'essai des servos 3 fils et que

le point milieu batterie de 4,8 V n'a pas été prévu. Cependant il est très simple d'ajouter ce conducteur, atteignant directement le plot central, resté libre sur le support DIN. Dans un tel cas, la mesure d'intensité ne se fait que dans la branche positive. Mais de toute façon, on trouverait la même valeur dans la négative.

5. Montage provisoire

Installer le circuit A dans le boîtier. Boulonner B sur le fond, avec entretoises de 10 mm. Assurer toutes les liaisons entre A et B.

6. Essais

Il est plus commode de travailler à l'air libre : sortir, en conséquence, l'ensemble électrique du boîtier. On constatera que les fils rigides permettent à la fois ce démontage, tout en maintenant fort bien les plaquettes.

La mise au point requiert un outillage minimum : un bon oscillo déclenché et étalonné (Le TFOX1, pourquoi pas !!) et si possible un impulsimètre numérique. (Le TFX1 par exemple). Ce deuxième appareil n'est pas indispensable comme le premier, mais il rend les mesures de temps, tellement plus rapides et précises !

Après de minutieuses vérifications, toutes résistances ajustables et potentiomètres à mi-course...

- K_5 en position « manuel » et $K_{3/4}$ en triangulaire.

- Oscilloscope en sortie « impulsion positive ».

$K_{1/2}$ sur « X10 ».

- Voltmètre 10 V entre « sortie triangle » et masse.

- K_6 sur « 50 mA ».

Mettre sous tension. Pas de servo branché.

Immédiatement on doit observer :

a) L'apparition de l'impulsion positive sur l'oscilloscope.

b) La montée et descente régulière de l'aiguille du voltmètre.

c) Une faible déviation du vu-mètre dans un sens ou l'autre à annuler par AJ1.

Si a) fait défaut :

- Voir l'existence du créneau rectangulaire en 8 de I.

- Puis voir le signal monostable en 3 de P₂.

- Enfin suivre sa progression à travers P₃ puis P₄.

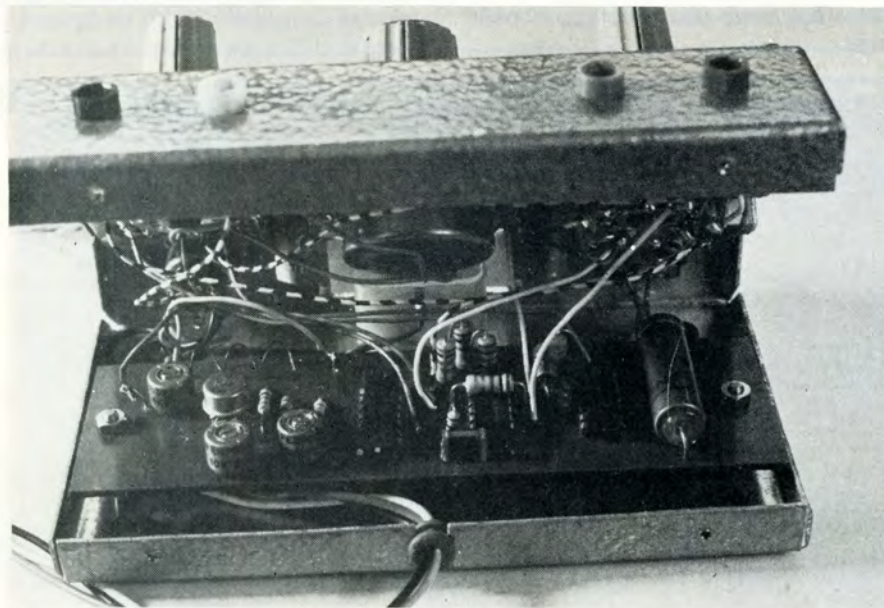


Photo C

Si b) fait défaut :

- Voir si le multivibrateur $I_{1/2}$ fonctionne.
- retrouver le signal inversé en 4 de I_3 .

Si c) est anormal, voir le circuit du 741.

Bien entendu les trois résultats seront positifs avant poursuite du travail. Dès que tout ira bien, vérifier que la sortie 12 du 4017 délivre bien un signal carré au $1/10$ de la fréquence de $I_{1/2}$.

Constater maintenant l'efficacité de P, puis celui-ci à mi-course, celle des contacts de T ou R.

Passer en « Automatique triangle ».

Constater la variation progressive de la durée de l'impulsion de sortie.

Passer en « automatique rectangle ».

Constater sa variation brutale d'une valeur à une autre.

7. Réglages

a) En manuel

Vérifier que la récurrence de l'impulsion de sortie est à $50 \text{ Hz} \pm 10 \%$. Sinon modifier la $100 \text{ k}\Omega$ de $1_{5/6}$.

Pousser P à fond, côté + avec P' à mi-course. L'impulsion a sa durée minimum. Celle-ci devrait être voisine de $0,9 \text{ ms}$. Si ce n'était pas le cas, il faudrait modifier la valeur de C_2 , par variation du 220 pF , pour y arriver.

Pousser P à fond, dans l'autre sens. L'impulsion a sa durée maximum. On doit trouver $2,2$ à $2,3 \text{ ms}$. Sinon agir sur la résistance de $47 \text{ k}\Omega$ en série avec P. Dans la maquette, nous avons ainsi placé une $180 \text{ k}\Omega$ en parallèle sur cette $47 \text{ k}\Omega$. Le circuit est prévu pour cette addition.

b) En automatique

- **Mode rectangulaire.** Se placer en vitesse lente (X10), avec P' au maximum de résistance. Vérifier :

- que P_2 permet d'ajuster le temps minimum d'impulsion à la valeur désirée et qui dépend du servo testé ;

- puis que P_1 permet de régler le temps maximum. La cadence lente choisie, donne le temps de faire ces réglages.

- **Mode triangulaire.** Le créneau de sortie de la 4017 va de OV à $+4,8 \text{ V}$ nom. Il faut que le triangle en fasse autant. C'est normalement ce qui devrait se produire avec les valeurs du schéma. Mais les C.MOS ayant certaines dispersions en régime linéaire, on peut noter deux anomalies :

- Si le triangle a une amplitude insuffisante, il faut réduire la $10 \text{ M}\Omega$ ou augmenter le $30 \text{ M}\Omega$.

- Si au contraire, le triangle est écrêté, il faut augmenter la $10 \text{ M}\Omega$. Le réglage fait, restera bon pour les trois gammes. Attention, attendre au moins 2 ou 3 cycles avant de tirer une conclusion, le régime stable, en triangulaire mettant quelques périodes à s'établir.

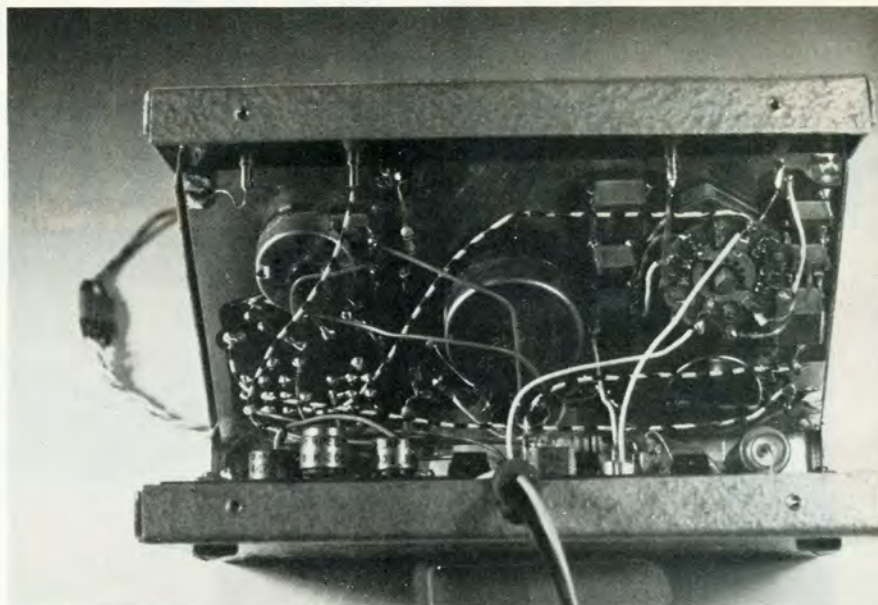


Photo D

c) Ampèremètre.

Se mettre en gamme 50 mA . Relier la sortie « + servo » à la masse, à travers un ampèremètre extérieur et une résistance de 150Ω . Le contrôleur indique environ 30 mA . Régler AJ_2 pour lire la même valeur (nous avons changé le cadran du vu-mètre utilisé, pour un autre dessiné avec graduations de 0 à 5).

Passer en gamme 500 mA . Même travail en remplaçant la 150Ω par une ampoule $6,3 \text{ V}$, $0,3 \text{ A}$ par ex. Ajuster Aj_3 pour une indication correcte

8. Montage définitif

Ces travaux effectués, procéder à la remise en boîte. Il faut placer le vu-mètre sans le fixer, engager les circuits, les bloquer, fixer le vu-mètre, l'inverseur K_6 , le socle DIN les quatre douilles de 2 mm . Câbler les dernières liaisons.

9. Etaonnage

Munir la face avant d'un papier blanc puis munir les potentiomètres de leurs boutons. Les graduations sont reportées sur le papier blanc, lequel servira à établir la face avant définitive. Pour la maquette, ce décor a été fait avec du Scotchkal de 3 M . (mais le bon papier noir de dessin est aussi valable !).

Il reste à établir la graduation précise de P. Pour « remuer le fer dans la plaie » signalons que cela demande quelques minutes avec un TFX1 !

La graduation de P' peut se faire arbitrairement en se fiant à la photo A. Mais, avec le TFX1 si la sortie est à $1500 \mu\text{s}$ avec 0% , on aura :

- 1485 et $1515 \mu\text{s}$ pour -1% et $+1 \%$;
- 1470 et $1530 \mu\text{s}$ pour -2% et $+2 \%$.

L'indication étant valable, quelle que soit la position de P.

L'étalonnage de P' peut se faire :

- par chronométrage direct en « X 10 ».
- Noter le $1/10$ des temps de courses trouvés pour la graduation ;
- par mesure de la période en sortie de I_2 ;
- par mesure des paliers de sortie du 4017.

10. Utilisation

On se reportera au paragraphe donnant les possibilités d'emploi. Nous n'insistons pas, vous laissant expérimenter ! En conclusion, le montage proposé, tout en étant de prix de revient bien modeste, constitue à la fois un passionnant exercice d'électronique et un outil de travail incomparable (et pensons-nous... inédit), sur les servo-mécanismes. Très vite, vous ne pourrez plus vous en passer. Alors, pourquoi vous en priver ?

Nous restons, à votre disposition pour tout renseignement complémentaire. Ne pas oublier l'enveloppe timbrée et self-adressée, de rigueur.

F. THOBOIS