

# VARIATIONS

## SUR VARIATEURS

**I**L est classique de penser que la radiocommande d'une maquette de bateau est plus facile que celle d'un avion. Nous NE LE CROYONS PAS : c'est le pilotage qui demande moins de virtuosité, mais la technique des commandes n'est pas sans poser de nombreux problèmes. Il faut d'ailleurs reconnaître honnêtement que les ensembles digitaux actuels ne s'adaptent bien qu'aux bateaux à moteur à explosion, c'est-à-dire à une forme très curieuse d'avion, ne volant... qu'à la surface de l'eau !

Par contre l'adaptation se fait souvent mal avec les bateaux à moteur électrique. Ce mode de propulsion, d'une grande souplesse, d'une mise en œuvre instantanée, est malheureusement grand générateur de parasites, ce que n'apprécient pas du tout les systèmes digitaux. A cet égard, les ensembles à filtres BF, voire

à lames vibrantes se comportaient mieux car leur grande sélectivité basse fréquence leur faisait refuser pas mal de perturbations. Mais... pas de regrets inutiles, restons en 1974 et tournons-nous plutôt vers l'avenir.

Les ensembles modernes sont donc digitaux, mais essentiellement conçus pour l'avion. Soyons juste : c'est l'avion qui a été générateur de progrès, car il a exigé une qualité et une fiabilité des ensembles qui n'étaient pas nécessaires sur le bateau. Pourquoi, par exemple, avoir 4 ou même 6 voies simultanées sur un navire alors qu'il suffit le plus souvent de manœuvrer de temps en temps... un gouvernail ! Une panne sur un avion et le voilà en miettes ! Le même incident sur un bateau vous donne droit simplement... à une promenade en barquette !

Quel est pourtant le modéliste

avion qui, flânant le long de la berge d'une jolie pièce d'eau, d'un étang, d'un lac, n'a pas ressenti cette petite envie de jouer à la « coquille de noix » ? Seulement voilà, l'ensemble digital possédé s'adaptait mal. Et les choses en restaient là !

Pour le gouvernail, pas de problème : un servo ordinaire fait l'affaire tant que le navire reste un « modèle réduit ». C'est ce fameux moteur électrique qui nous ennuie ! Car les modélistes ne sont pas exigeants... mais ils veulent le maximum !

— La marche avant : c'est bien normal !

— L'arrêt : c'est bien pratique à la mise à l'eau, à l'accostage !

— La marche arrière : c'est plus prudent, pour se sortir d'un mauvais pas, pour les manœuvres et surtout parce qu'elle sert de frein.

Sur son avion le modéliste a sa commande de gaz. Et sur le bateau, rien ?

« En avant, toute ! », « En arrière, toute ! ». Ce n'est pas sérieux, il nous faudrait une commande progressive de la propulsion, il nous faudrait... un variateur !

Bien sûr, les catalogues des spécialistes nous proposent de tels montages, mais un petit coup d'œil sur le tarif nous incite personnellement à tourner la page dans la plupart des cas ! Et nous nous mettons à rêver à cette époque héroïque de la RC, où il fallait tout faire soi-même et où... ça ne marchait jamais !!

Alors concilions les générations, en fabriquant nous-mêmes un variateur qui fonctionne bien !

### I. — PRINCIPE DE LA COMMANDE D'UN MOTEUR ÉLECTRIQUE

Les moteurs électriques de propulsion utilisés dans les modèles réduits sont toujours des moteurs à courant continu et à inducteur à aimant permanent. L'induit est alimenté par deux balais s'appuyant sur un collecteur cylindrique possédant d'autant plus de lames que le moteur est de bonne qualité. C'est d'ailleurs au niveau de ces contacts balais-collecteur que se produisent des étincelles, donc des parasites. Pour inverser le sens de rotation d'un tel moteur, il suffit de croiser les fils de l'alimentation. Cela peut s'obtenir de diverses façons :

a) Avec relais double inverseur. Fig 1 et 2. Au repos nous avons un sens de marche, au travail nous avons l'autre sens. In-

convénients : le changement de marche est brutal car le basculement du relais est très rapide. D'autre part, la coupure et l'établissement du courant se font à pleine charge, ce qui provoque de fortes étincelles au relais, donc détérioration des contacts et parasites.

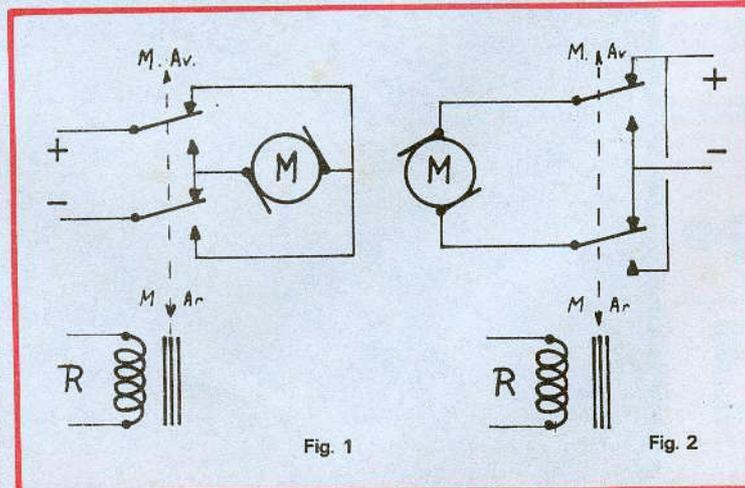
b) Avec deux relais simple inverseur. Fig 3. Relais au repos, nous obtenons l'arrêt, ce que ne donnait pas le montage précédent. R<sub>1</sub> donne la marche avant, R<sub>2</sub> donne la marche arrière. Autres avantages : lorsque les deux relais sont au repos, le moteur est court-circuité, sa rotation est alors

fortement freinée et il s'arrête très vite. Une commande séparée des relais permet d'éviter la brutalité du changement de marche. Mais il faut deux canaux pour ce montage que nous pourrions facilement obtenir avec une voie digitale : il suffit de munir un servo, d'inverseurs à rupture brusque. Voir figure 4 :

— au neutre, les deux rupteurs sont au repos et le moteur arrêté,  
— en poussant vers la gauche, le rupteur I<sub>1</sub> passe au travail donnant la marche avant,  
— en poussant vers la droite I<sub>2</sub> donne la marche arrière.

Ce montage très simple ne permet pas, évidemment, d'avoir des vitesses progressives, mais pratiquement, en poussant le manche par petits coups, l'inertie considérable d'un bateau permettrait un contrôle de la vitesse.

c) A noter encore la méthode de la double batterie, peu utilisée, on le comprend aisément, pour la propulsion (fig. 5) mais qui est



pourtant celle que l'on retient pour les moteurs de servos digitaux : moteur 2,4 V avec batterie 4,8 V à point milieu, encore que la tendance actuelle semble être à l'abandon de ce système pour le suivant.

**d) Montage en pont** réalisé avec des transistors.

— si  $e_1$  est reliée au + et  $e_2$  au -,  $T_1$  conduit et fait conduire  $T_3$ ,  $T_2$  et  $T_4$  sont bloqués. Le moteur tourne donc avec a au + et b au -.

— si  $e_1$  est reliée au - et  $e_2$  au +,  $T_4$  conduit et fait conduire  $T_2$ ,  $T_1$  et  $T_3$  sont bloqués. Le moteur tourne avec a au - et b au +, donc en sens inverse.

A noter un inconvénient de la commutation par transistors : un transistor, même saturé, n'a pas une résistance nulle et on perd toujours entre collecteur et émetteur une certaine tension : 0,5 V environ pour le germanium et presque 1 V avec le silicium. Cela n'est pas négligeable si la batterie est à tension assez basse.

Voyons maintenant comment on peut obtenir la variation de vitesse. Deux procédés sont possibles.

### 1. VARIATION DE LA TENSION D'ALIMENTATION

Une commutation du nombre des éléments utilisés peut se concevoir. Voir figure 7. Les modélistes quelque peu mécaniciens n'auraient guère de difficulté à dessiner et réaliser un tel commutateur qui serait actionné par un servo digital à sortie rotative. Une seule précaution importante : le passage du doigt de commutation, d'une position à l'autre, ne doit pas court-circuiter deux plots consécutifs. En combinant cette solution et la solution de la figure 4, on peut, avec deux voies digitales, commander la vitesse et le sens de rotation du moteur de propulsion.

Un résultat similaire peut s'obtenir avec l'utilisation d'un rhéostat disposé en série avec le moteur (fig. 8). La solution est aussi vieille que l'électricité, mais dans le cas du moteur électrique à aimant, elle présente de gros inconvénients. C'est qu'un moteur est un récepteur présentant une **force contre-électromotrice  $e'$  proportionnelle à sa vitesse de rotation.**

$$e' = k \cdot v$$

L'intensité traversant l'induit,

donc le rhéostat, est fonction de la vitesse :

$$I = \frac{u - e'}{r} = \frac{u - kv}{r}$$

Avec  $u$  constant (cas de la fig. 7, par exemple)

— si le moteur tourne vite, (faible charge)  $e'$  est grande, presque égale à  $u$  et l'intensité  $I$  est faible,

— si le moteur est freiné, il tourne beaucoup moins vite,  $e'$  diminue,  $u - e'$  augmente et l'intensité aussi.

Ce comportement est très rationnel, puisque le moteur consomme de l'énergie électrique quand on lui demande de l'énergie mécanique.

Toutefois, avec le montage de la figure 8, la vitesse étant réglée pour une charge donnée, le moteur consomme un courant  $I$  et il s'établit à ses bornes une tension  $u = U - RI$ .  $U$  étant la tension de la batterie et  $RI$ , la chute de tension dans le rhéostat. Augmentons la charge : nous savons que  $I$  tend à augmenter, mais alors  $RI$

aussi. La tension  $u$  aux bornes du moteur s'effondre en même temps, ce qui est, on le comprend, totalement incompatible. Le montage de la figure 8 refuse donc les variations de charge du moteur : une herbe dans l'hélice, par exemple, serait catastrophique !

Pourtant ce montage a l'avantage de ne pas commuter le courant moteur, il est donc moins générateur de parasites. L'idéal serait un rhéostat automatique dont la résistance s'adapterait seule aux variations de charge : si le moteur peine,  $R$  diminue, s'il se libère,  $R$  augmente de manière à garder  $u$  bien constant.

Je vois d'ici sourire les électroniciens du transistor ! Eh oui ! Vous avez deviné, ce montage existe et l'on peut même dire que tous les appareils sérieux en sont munis : c'est l'**alimentation stabilisée.**

Ici elle sera un peu adaptée à nos besoins : voir figure 9. Un

amplificateur de gain  $k$ , reçoit à la fois la tension souhaitée et la tension obtenue, en mesure l'écart, l'amplifie et actionne en conséquence le rhéostat à transistor, dans un sens tel que l'écart tende à s'annuler. Avec un tel montage et dans la limite de ses possibilités maximales, une variation de charge ne provoque qu'une variation infime de la tension de sortie.

Il serait toutefois malhonnête de cacher un grave défaut du montage à rhéostat, fût-il automatique : supposons un moteur alimenté sous  $u = 5$  V à travers un rhéostat connecté à une batterie  $U = 12$  V. Soit  $I = 1$  A.

Puissance consommée dans le moteur :  $P = uI = 5 \times 1 = 5$  W.

Puissance consommée dans le rhéostat :  $P' = (12 - 5) \times 1 = 7$  W.

Pour 5 W utilisés, on a 7 W perdus et qui se transforment en chaleur. Ce n'est pas agréable, mais on ne peut que s'en accommoder si on tient à garder le principe.

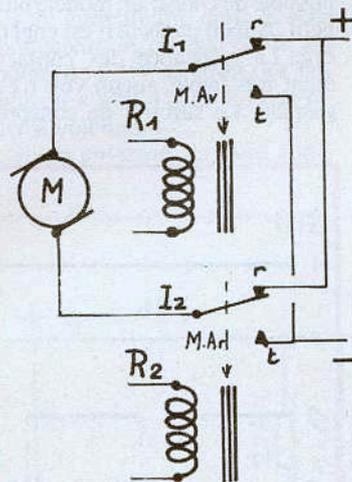


Fig. 3

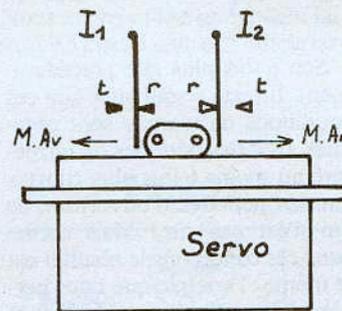


Fig. 4

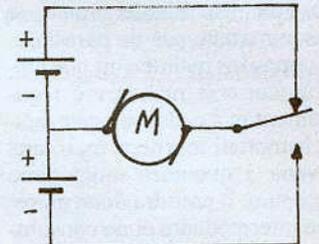


Fig. 5

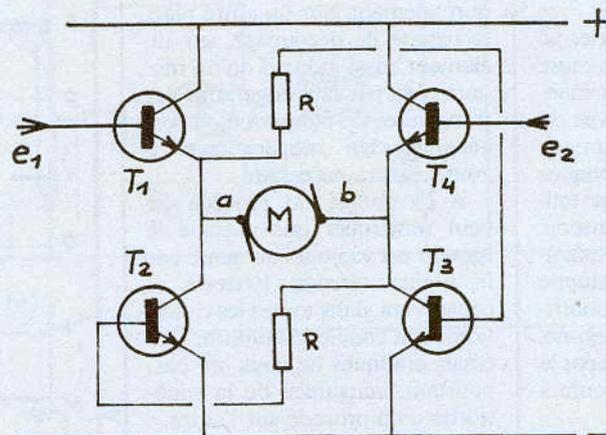


Fig. 6

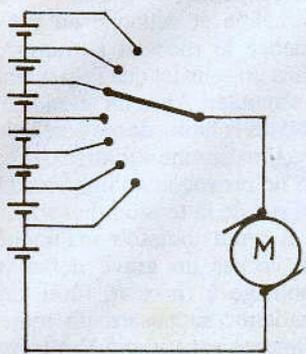


Fig. 7

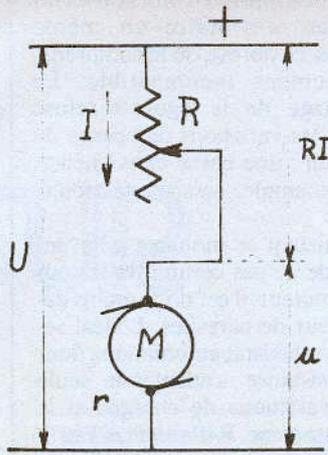


Fig. 8

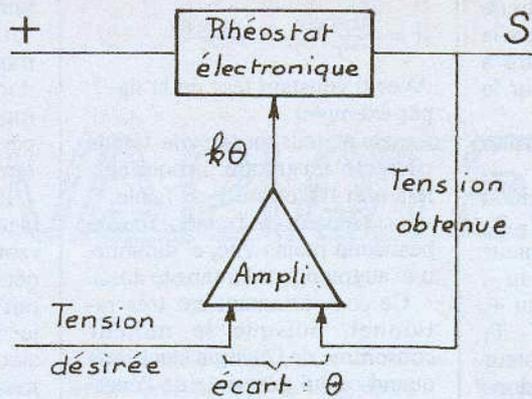


Fig. 9

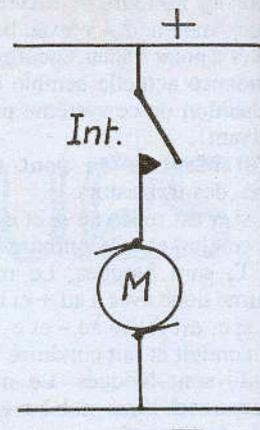


Fig. 10

## 2. ALIMENTATION À DÉCOUPAGE

Observons le montage de la figure 10 : on ne peut imaginer plus simple !

Si l'interrupteur est fermé, le moteur tourne à son régime maximum. Toute l'énergie se consomme dans le moteur et nulle part ailleurs (en supposant nulles les pertes dans les conducteurs et le générateur).

Si l'interrupteur est ouvert, la situation est idéale : pas de consommation, pas de parasites.

Supposons maintenant que l'interrupteur soit manœuvré régulièrement et à cadence assez rapide : le moteur tournera, mais sans parvenir à atteindre son régime maximum. Il prendra donc un régime intermédiaire et ne consommera de l'énergie que pendant les périodes de fermetures de Int. Il suffit de faire varier la proportion entre la durée d'ouverture et celle de fermeture, pour obtenir tous les régimes du maximum au minimum. Voir figure 11.

On serait vite tenté de crier au miracle en constatant que la cause du mauvais rendement du montage à rhéostat a disparu avec celui-ci. Mais voyons cela d'un peu plus près : la tension appliquée aux bornes du moteur est toujours la pleine tension batterie. Toutefois, à mi-régime, par exemple, le moteur ne développe qu'une force contre-électromotrice correspondant à ce régime, aussi l'intensité consommée par le moteur est-elle bien supérieure à la normale :

Exemple : Soit un moteur de résistance  $1,5 \Omega$  et consommant  $0,5 \text{ A}$  sous  $5 \text{ V}$  permanents. On

$$\text{tire } e' = u - rI = 5 - (2,5 \times 0,5) = 5 - 1,25 = 3,75 \text{ V}$$

Alimentons ce même moteur en régime découpé, sous  $12 \text{ V}$  et en le faisant tourner à la même vitesse. La force contre-électromotrice  $e'$  sera donc la même. On peut alors calculer l'intensité traversant l'induit pendant les périodes de fermeture.

$$I = \frac{u - e'}{r} = \frac{12 - 3,75}{2,5} = 3,3 \text{ A env.}$$

Soit 6 fois plus que précédemment. Il reste à souhaiter que ces conditions de marche sont obtenues avec des périodes de fermeture au moins 6 fois plus courtes que les périodes d'ouverture, ce qui n'est pas sûr ! Mais même dans ces conditions le résultat est le même : l'énergie que nous perdions dans le rhéostat est tout simplement perdue dans le moteur qui chauffe bien plus, avec cet inconvénient que les balais subissent un courant plus élevé que normalement. Sur un autre plan, le régime de découpage, sur un élément aussi inductif qu'un moteur, n'est pas sans engendrer des transitoires de commutation fort gênantes. Un antiparasitage rigoureux sera nécessaire.

A l'avantage du procédé on peut remarquer que puisque le moteur est toujours alimenté par la pleine tension batterie, il conservera, dans toutes les conditions, son couple maximum. Des essais pratiques ne nous ont pas, pourtant, convaincu de la supériorité d'un procédé sur l'autre.

Ces principes généraux étant exposés, nous allons passer à la description détaillée de trois types

de variateurs, les deux premiers, soit à rhéostat, soit à découpage, ce qui fera cinq variantes possibles.

Point commun à toutes les versions : La commutation Avant-Arrière se fait par relais double inverseur, à l'arrêt du moteur, soit à consommation nulle. Les contacts du relais ne risquent donc pas de se détériorer. Il est possible de choisir un modèle plus petit. Aucun parasite n'est engendré. La résistance des contacts étant très faible, aucun volt n'est gaspillé. Le surcroît de consom-

mation dû à la bobine du relais est minime (moins de  $0,1 \text{ A}$ ) comparé à celle du moteur. Si les parasites ne sont pas gênants, on pourra d'ailleurs s'arranger pour que le relais colle en marche arrière, donc rarement.

## II. VARIATEURS SEMI-ELECTRONIQUES

L'idée consiste à commander mécaniquement, par un servo digital normal, un variateur électro-

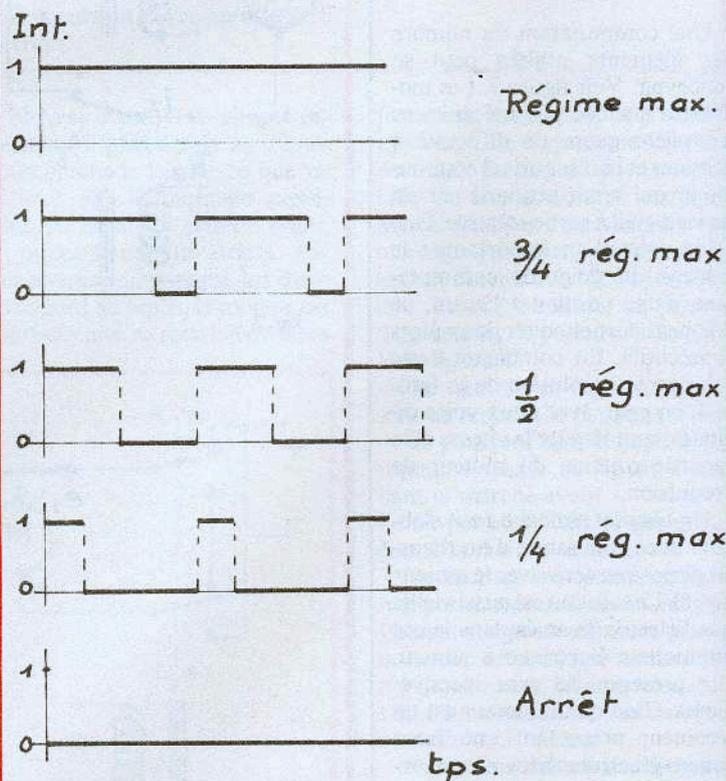


Fig. 11

nique. L'utilisation du montage est alors immédiate : une simple tringle de commande, comme on le fait pour une gouverne. Par ailleurs cette tringle, choisie **isolante**, permet une séparation électrique totale entre l'ensemble de réception et le bloc de propulsion : la lutte contre les parasites en est d'autant facilitée.

### 1. Modèle à rhéostat

**a) Schéma.** Figure 12. C'est pratiquement celui d'une alimentation stabilisée : Le 2N3055 sert de rhéostat. Sa résistance de passage est contrôlée par son courant de base qui provient du 2N2905, lui-même commandé par le 2N2926. L'émetteur de  $T_1$  est porté à un potentiel correspondant à une fraction ajustable de la tension de sortie  $S$ . Supposons par ex. que  $V_e = 0,2 S$ . La base est portée à un potentiel variable, déterminé par la position du potentiomètre à point milieu, commandé par le servo-mécanisme. Supposons par ex. que  $V_b = +1,5 V$ . A la mise sous tension,  $S = 0$ . Si  $V_b = +1,5 V$ , le 2N2926 conduit, fait conduire le 2N2905, lequel fait conduire le 2N3055. La tension de sortie  $S$  monte donc. Le potentiel de l'émetteur de  $T_1$  s'élève proportionnellement jusqu'au moment où il égale, à la tension résiduelle base-émetteur près, la tension de base. Alors  $T_1$  tend à se bloquer et à arrêter l'augmentation de  $S$ . Ainsi avec les valeurs supposées, et en admettant que pour un 2N2926,  $V_{be} = 0,5 V$ , si  $V_b = +1,5 V$  alors  $V_e = 1,5 - 0,5 = 1 V$  et  $S = 1/0,2 = +5 V$ . Pour obtenir  $+10 V$  en  $S$ , il faut porter la base à  $V_b = 0,2 \times 10 + 0,5 = +2,5 V$ . Le régime, une fois établi, toute élévation de  $S$  tend à bloquer  $T_1$ , donc à réduire la conduction de  $T_3$ , toute diminution de  $S$  débloque plus  $T_1$  lequel augmente la conduction de  $T_3$ . Une variation de charge « normale » ne fera donc pas chuter la tension de sortie et le moteur conservera sa puissance.

Un point particulier : nous voulons l'arrêt au neutre du servo et les maxima, en fins de course. D'où la nécessité du potentiomètre à point milieu. Ainsi, curseur au milieu, la base est à  $0 V$ , en tournant, soit d'un côté, soit de l'autre, on obtient les mêmes tensions positives pour des positions symétriques.

La commande du relais se fait par un interrupteur à disque, entraîné par le potentiomètre. En partant du centre, si l'on tourne

dans un sens, l'interrupteur est fermé, le relais colle et inverse le sens moteur. Si l'on tourne dans l'autre sens l'interrupteur reste ouvert et le relais reste au repos.

Nous avons déjà fait remarquer que l'inversion de marche se fait à **courant nul**, puisque à ce moment la base de  $T_1$  est à la masse. Toutefois, pour protéger les transistors, en cas de manœuvre brutale, une diode est placée en parallèle sur la sortie de manière à interdire l'apparition de surtensions inverses dangereuses.

Une remarque encore :

— Avec un 2N2926, ( $V_{be} = 0,5 V$ ) il faut porter la base à  $+0,5 V$  avant que le transistor ne commence à conduire. Cela détermine ainsi une zone très confortable, au voisinage du neutre, pour laquelle  $S$  reste nulle, ce qui facilite la commutation.

— Avec un AC127, ( $V_{be} = 0,1 V$ ) cette zone est plus étroite. Elle est encore suffisante pour commuter sans problème. Nous laissons le choix au réalisateur. On peut d'ailleurs, avec le AC127, augmenter cette tension résiduelle en intercalant, dans la connexion d'émetteur, une ou plusieurs diodes au germanium, dans le sens conducteur. A chaque diode, on monte de  $0,1 V$  environ. La largeur du « trou » peut donc se régler à volonté.

Si on envisage de faire fon-

ctionner le variateur avec des tensions d'entrée différentes, ce qui est parfaitement possible sans aucune modification (de  $6$  à  $12 V$ ), il faudra utiliser un relais  $6 V$  et intercaler en série, en  $12 V$ , une résistance  $R_1$  égale à la résistance de la bobine. Si l'utilisation  $12 V$  seule était retenue, il serait plus rationnel de choisir une bobine  $12 V$ , sans  $R_1$ , car le surcroît de consommation serait évité.

### b) Réalisation.

#### Composants :

1 2N3055, 1 2N2905, 1 2N2926 (BC170) ou AC127, 1 diode genre BY127.  $R : 470 \Omega, 1 k\Omega, 2,2 k\Omega, 4,7 k\Omega$ .  $R_1$  selon relais -  $1/2 W - C : 0,1 \mu F$ .

1 potentiomètre à point milieu  $4700 \Omega$  (voir ci-dessous).

1 potentiomètre ajustable  $470 \Omega$  type EO97 debout.

1 relais  $6$  ou  $12 V, 2RT/1$  à  $3 A$  selon disponibilité (JO2, Siemens...). Le montage est absolument sans aléas et il fonctionne toujours au premier essai. La disposition des éléments est quelconque, l'exemple de notre propre maquette est simplement indicatif.

Le 2N3055 devant être monté sur un gros radiateur, c'est une pièce qui conditionne les dimensions et la disposition retenue. Nous avons utilisé un modèle faisant  $9,5 cm$  de long et  $5 cm$  de lar-

ge, d'où les dimensions de la plaque de base :  $9,5 \times 9,5 cm$ . Voir figure 13. Cette plaque de base, en époxy simple face sert de support électrique pour le montage. Une contre-plaque d'époxy, débarrassée de son cuivre, supporte le potentiomètre. Voir figure 14 et 15. Le potentiomètre à point milieu pose un difficile problème d'approvisionnement. Il est bien plus facile de le réaliser, à partir d'un modèle standard :

Se procurer deux potentiomètres bobinés de  $4700 \Omega$ , type Minibob. L'un des deux sera quelque peu sacrifié. Dessertir les capuchons arrière. Les supprimer, ainsi que les plaquettes avant. Dévisser l'écrou du canon fileté, enlever le canon avec l'axe et le curseur. Avec une pointe, faire sauter la rondelle de bakélite portant la piste de la cosse curseur. On constate alors que les cosses des extrémités de l'enroulement résistant se libèrent car elles étaient simplement appuyées sur le bobinage. Prélever sur l'un des potentiomètres une de ces cosses et la placer sur l'autre, en utilisant le passage prévu par le constructeur, dans le boîtier plastique, au point milieu de la piste. Toutefois, il faudra, au préalable, décaper le fil résistant, au point de contact. Cela se fait très facilement avec du papier abrasif fin. On peut, pour cette opération un peu déli-

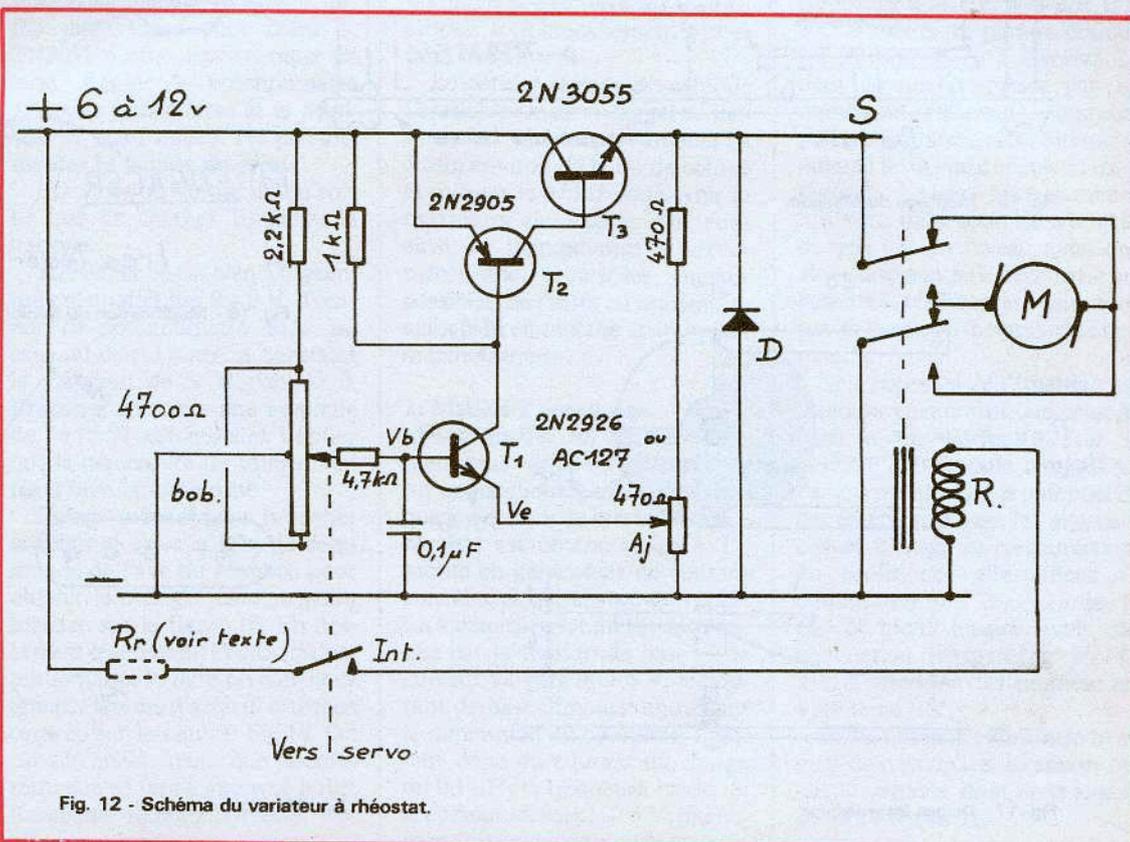


Fig. 12 - Schéma du variateur à rhéostat.

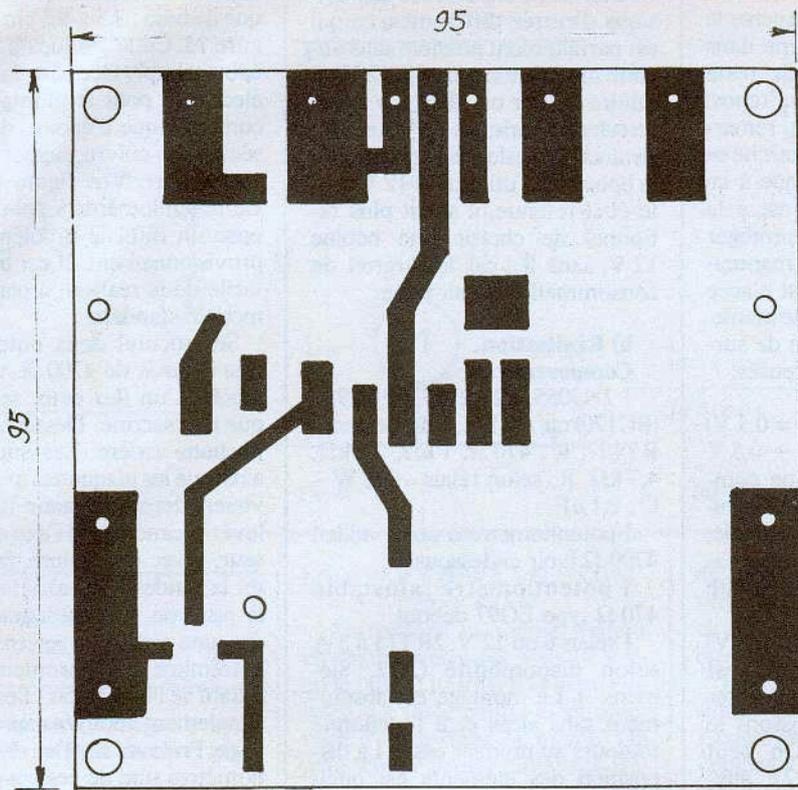


Fig. 13 - Plaque de base.

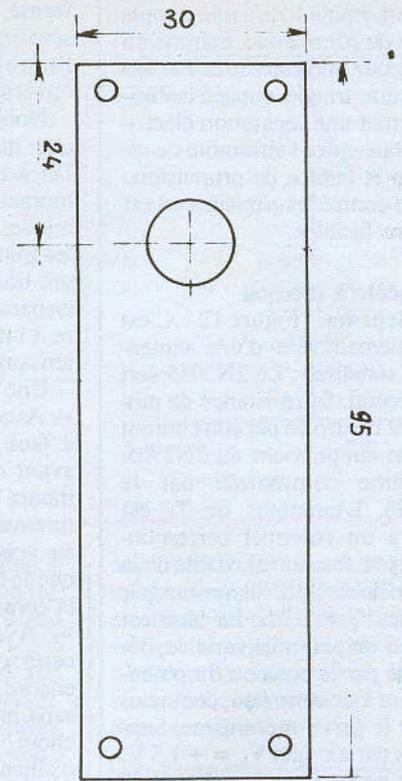


Fig. 14 - Contre plaque.

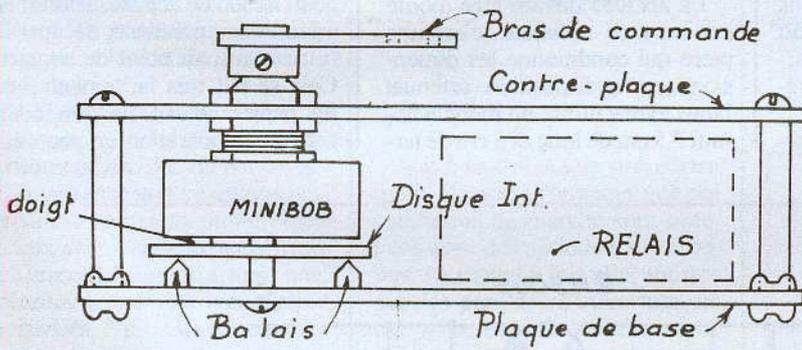


Fig. 15 - Montage du Minibob.

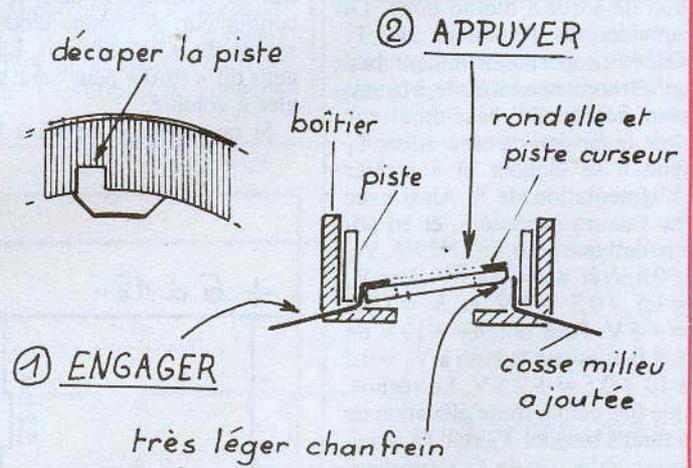


Fig. 16 - Modification du Minibob.

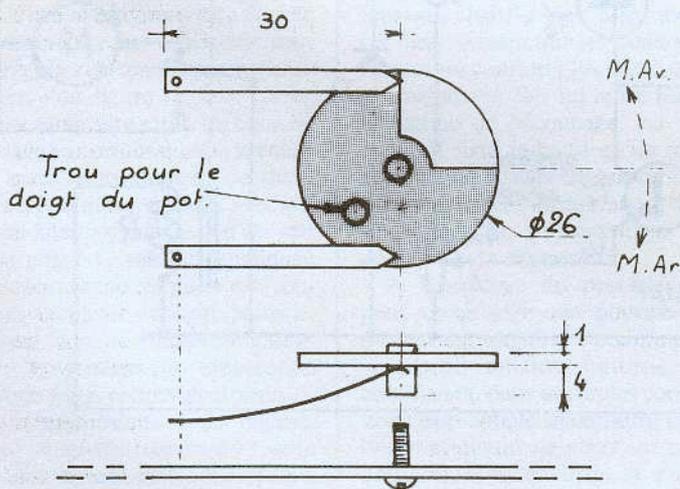


Fig. 17 - Disque interrupteur.

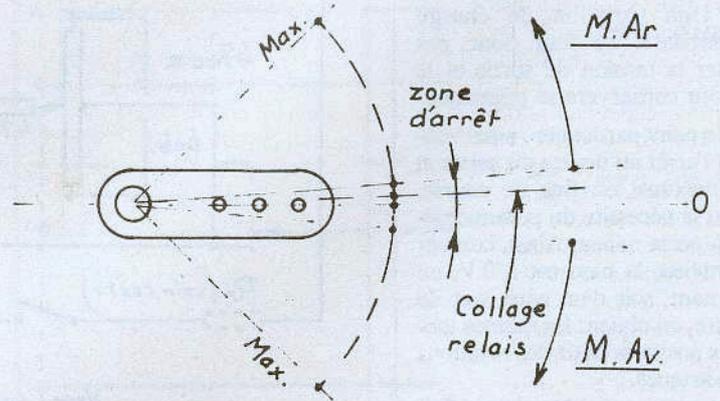


Fig. 18 - Action du bras.

cate, extraire la piste du boîtier, en veillant simplement à ne pas rompre le fil résistant, avec un outil coupant. Voir détail de la figure 16. La cosse point milieu placée, remettre l'ensemble piste-rondelle curseur à force, car c'est cette pièce qui appuie les cosses sur la piste. Un très léger chanfrein sera sans doute nécessaire pour réussir cette opération. Voir figure 16. Vérifier à l'ohmmètre la qualité des contacts. Replacer l'ensemble canon-curseur. Le second potentiomètre, privé de sa cosse, sera remonté et servira, à l'occasion, en résistance variable. Bien entendu, si vous êtes capable de fabriquer vous-même, en laiton, une cosse conforme, le second potentiomètre est inutile.

Le doigt fixé d'origine à l'arrière de l'axe et qui servait de butée de fin de course, va servir maintenant à entraîner le disque interrupteur. Voir figure 15. Ce disque (fig. 17) est réalisé en époxy simple face. Percer à 30/10, bien au centre et souder un petit morceau de tube laiton  $\varnothing 3$  ext.  $\varnothing 2$  int. (tube très courant en modélisme) dépassant de 1 mm au-dessus et de 4 mm en dessous (côté cuivre). L'axe de rotation est une vis de 2 mm, vissée dur dans la plaque de base.

Les deux lamelles de contact, taillées dans du chrysocale de 2/10 sont cambrées et réglées pour appuyer assez fortement en deux points diamétralement opposés. Ces lames sont simplement soudées sur la plaque de base.

Sur le dessin de la figure 13, à l'emplacement du disque de l'interrupteur, on remarque des pistes supplémentaires. Ces pistes nécessaires dans la version tout-électronique, ne servent à rien ici.

Quatre entretoises de 22 mm, taillées dans le même tube laiton, sont soudées sur la plaque de base et supportent la contre-plaque fixée par quatre vis à tôle, forcées dans les tubes. Régler la position du potentiomètre pour obtenir un fonctionnement doux et sans jeu. Pour cela le trou d'axe sera percé à un peu plus de 10 mm, pour permettre des réglages latéraux, un écrou et un contre-écrou permettant le réglage vertical.

Le calage dans le sens de rotation devra aboutir au résultat de la figure 18. Nous indiquons plus loin la méthode à utiliser.

Toutes les pièces mécaniques étant prêtes, câbler l'électronique en suivant la figure 19. Contrairement à l'habitude, les composants

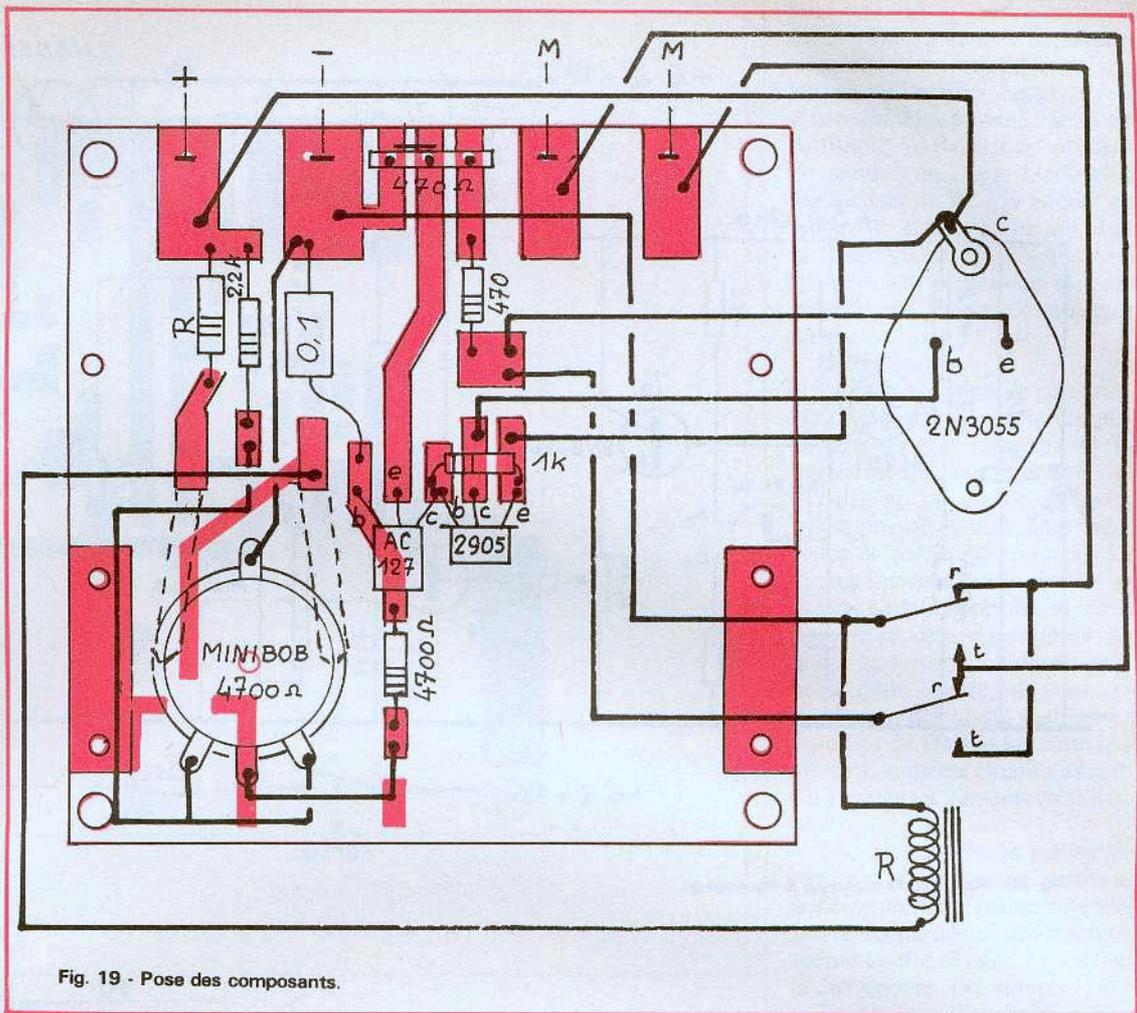


Fig. 19 - Pose des composants.

se soudent et se trouvent côté cuivre. Prévoir provisoirement des fils assez longs pour poser le 2N3055 à côté de la plaque de base. Régler le potentiomètre ajustable à mi-course et le Minibob au point milieu. **Ne pas alimenter la bobine du relais.**

Brancher un voltmètre en sortie (pas de charge). Brancher la batterie.

Si le Minibob est bien à 0 (point milieu) on doit lire  $S = 0$  V. Tourner ce potentiomètre dans un sens ou dans l'autre et constater la variation de S. Revenir à 0. Brancher en sortie une ampoule de 7 à 15 W (automobile). Vérifier que la manœuvre du Minibob en règle bien la luminosité.

**Calage mécanique :** Brancher le relais et caler le bras de commande de l'axe du Minibob pour obtenir le collage, juste au point marqué sur la figure 18. En desserrant légèrement l'écrou du potentiomètre, le faire pivoter pour amener la zone d'arrêt ( $S = 0$ ) bien centrée sur le neutre. Fig 18. On est sûr, maintenant, que la commutation se fera à intensité nulle. Rebloquer le potentiomètre. Vérifier le calage.

Il reste à vérifier le bon fonctionnement avec le moteur. Attention, tout branchement doit se faire avec  $S = 0$ .

Le dernier réglage est celui de l'ajustable : le servo digital actionnant le variateur, l'amener à 1 mm environ de la fin de course et tourner le 470  $\Omega$  pour avoir le maximum de vitesse. On aura ainsi, en manœuvrant le servomécanisme, toutes les vitesses possibles, de l'arrêt au maximum, aussi bien en marche avant qu'en marche arrière.

## 2. Modèle à découpage.

**a) Schéma** (fig. 20). Il est évidemment plus complexe. Un transistor unijonction  $T_2$  oscille en fabriquant une dent de scie linéaire. Ce résultat est obtenu grâce à  $T_1$ , monté en générateur de courant constant et qui charge le 0,1  $\mu F$ . La valeur du courant est déterminée par la tension de base. Si le curseur va vers le +5 V, le courant de base diminue, entraînant la diminution du courant d'émetteur donc du courant de charge du 0,1  $\mu F$  : la fréquence baisse. Si le curseur va vers le -5 V, phénomène inverse : la fréquence mon-

te. Au réglage, on amènera cette fréquence à 50 Hz, sans que cela soit le moins du monde critique (ça marche de 20 à 200 Hz). La dent de scie transmise par  $T_3$ , monté en collecteur commun, sera ainsi utilisée, sans altération notable de la linéarité, par le transistor  $T_4$ . La base de ce transistor NPN est donc soumise à la dent de scie (à un niveau ajustable) alors que son émetteur est à un potentiel réglable et déterminé par la position du bras de commande.

Si le potentiel de l'émetteur est toujours plus positif que celui de base ( $e_1$  de la figure 21.a), le 2N2926 est toujours bloqué. Au fur et à mesure que le potentiel de cet émetteur baisse, les alternances de blocage se raccourcissent au profit des alternances de conduction ( $e_2, e_3, e_4$ , de la fig. 21 b/c/d) jusqu'à avoir une conduction permanente ( $e_5$  de 21e) si la tension de l'émetteur est voisine de 0 V.

Nous obtenons donc bien le signal de découpage, à rapport cyclique variable, dont nous avons parlé en figure 11.

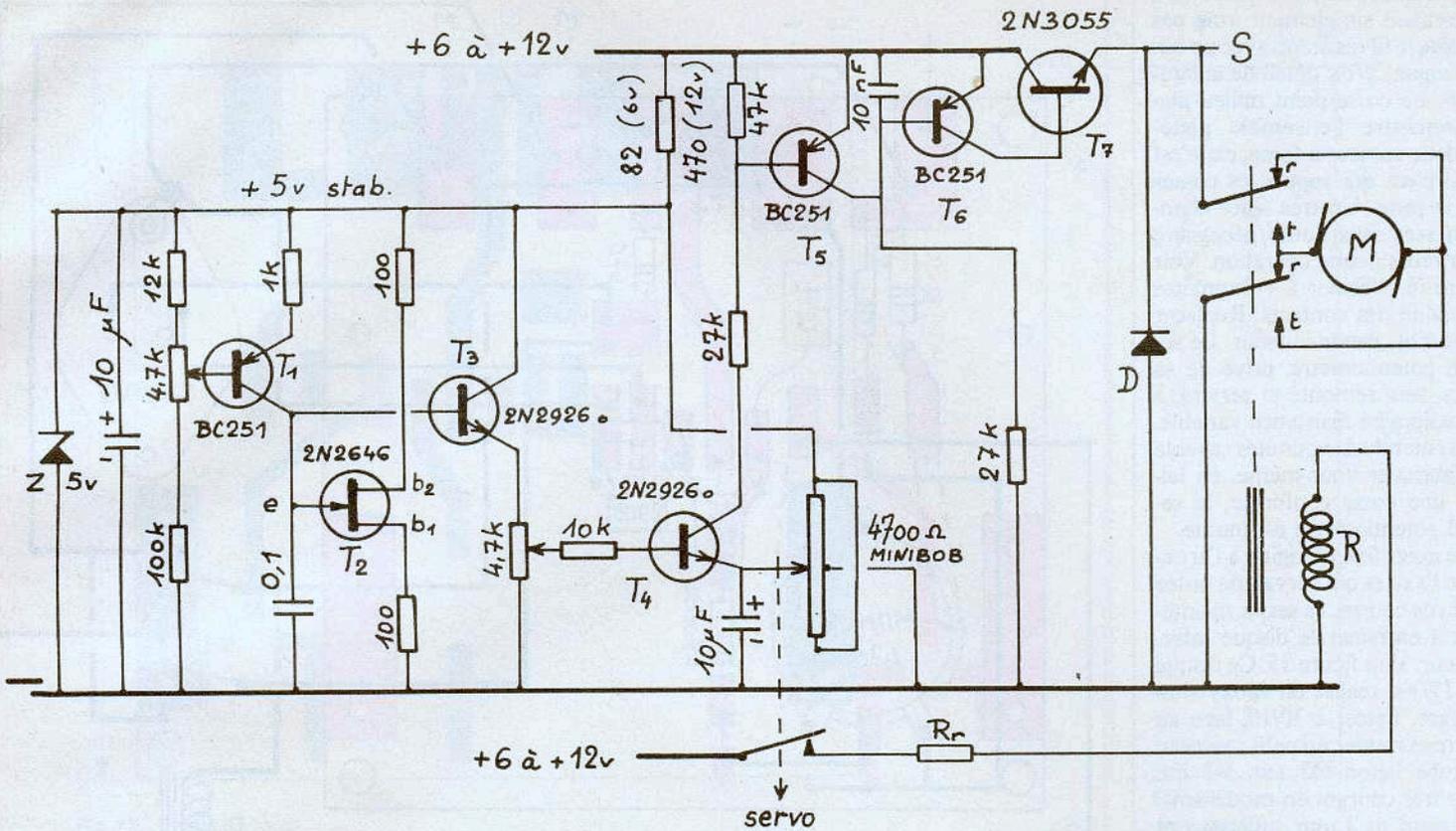


Fig. 20 - Schéma du variateur à découpage.

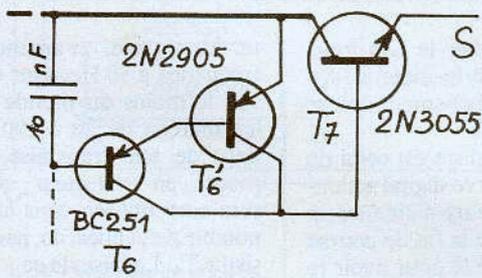


Fig. 20 bis - Variante.

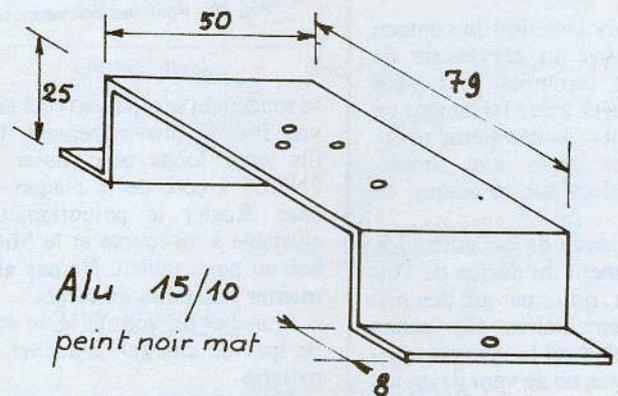


Fig. 22 - Radiateur de 2N3055.

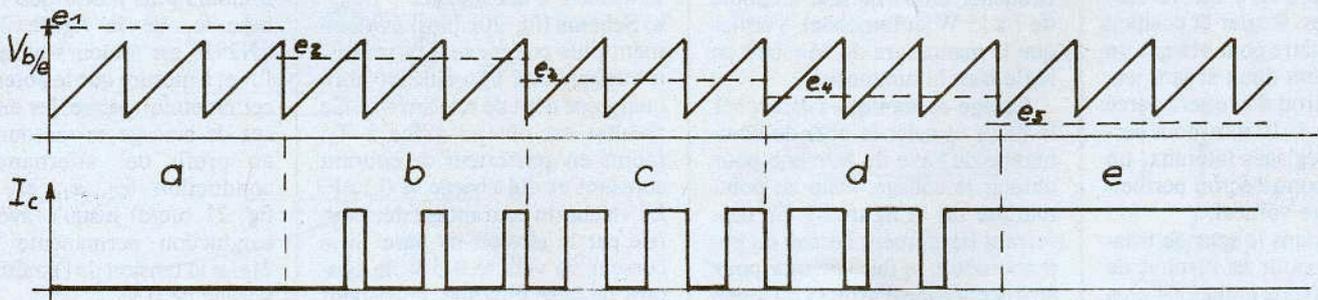


Fig. 21 - Création du signal à découpage.

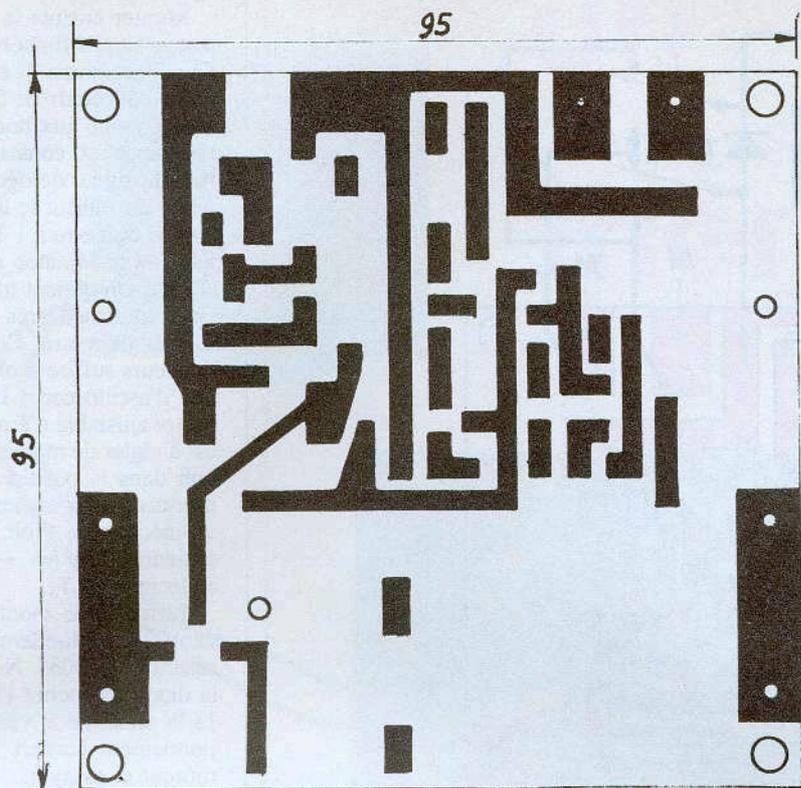


Fig. 23 - Plaque de base.

Lorsque  $T_4$  est bloqué,  $T_5$  l'est aussi : la base de  $T_6$  est alors alimentée. Ce transistor devient conducteur et débloque complètement le 2N3055, monté en

« transdiode ». Le moteur tourne au maximum.

Lorsque  $T_4$  est conducteur,  $T_5$  l'est aussi, supprimant le courant de base de  $T_6$ , lequel se bloque,

bloquant le 2N3055. Le moteur n'est plus alimenté.

Le cas de la figure 21a correspond donc au régime maximum, le 21e à l'arrêt et les cas 21b/c/d

aux régimes intermédiaires. La diode en sortie élimine les surtensions négatives qui seraient fatales pour le 2N3055. Jusqu'à 1,5 A le courant de commande de  $T_7$  est suffisant. Au-delà, il est prudent de monter un étage Darlington réalisé avec le BC251 auquel on adjoint un 2N2905. Voir détail de la figure 20 bis. Le 2N3055 travaillant en saturation-blocage chauffe peu. Un simple radiateur en alu de 15/10 suffit.

#### b) Réalisation.

La même formule de construction a été retenue, car le remplacement du gros radiateur de  $T_7$  par un modèle plus léger (voir fig. 22) dégage un espace suffisant, sur la plaque de base, pour loger toute la partie électronique. Le circuit imprimé est à réaliser en époxy simple face. Il est prévu pour le modèle « tout électronique » également. Le dessin comporte donc encore, au voisinage du disque, des pistes inutiles. Le montage du Darlington a été prévu, ainsi le même circuit s'adapte-t-il à toutes les versions (voir figure 23).

Tous les détails de réalisation mécanique du premier variateur sont à reprendre : même potentiomètre, même disque interrupteur, même contre-plaque. Le câblage se fait encore côté cuivre.

Toutes les pièces étant prêtes, commencer la mise en place des composants (fig. 24) par le générateur de dent de scie (de  $T_1$  à  $T_3$ ). Brancher l'oscilloscope sur l'émetteur de  $T_3$  et régler la fré-

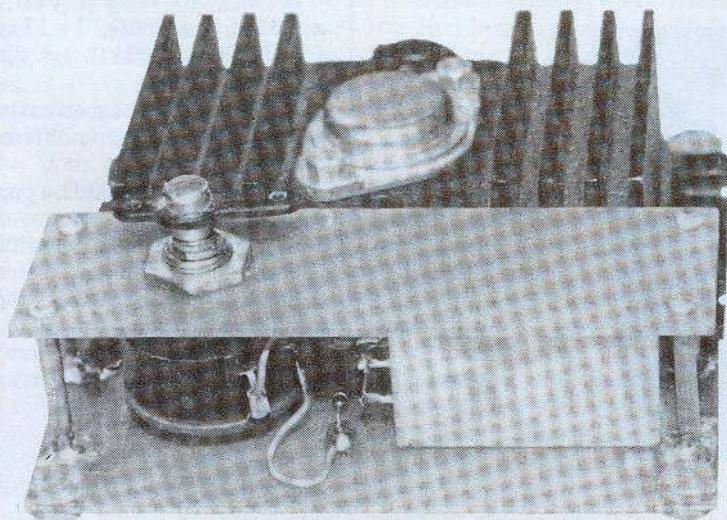


Photo 1 - Le variateur à rhéostat, vu côté potentiomètre et relais.

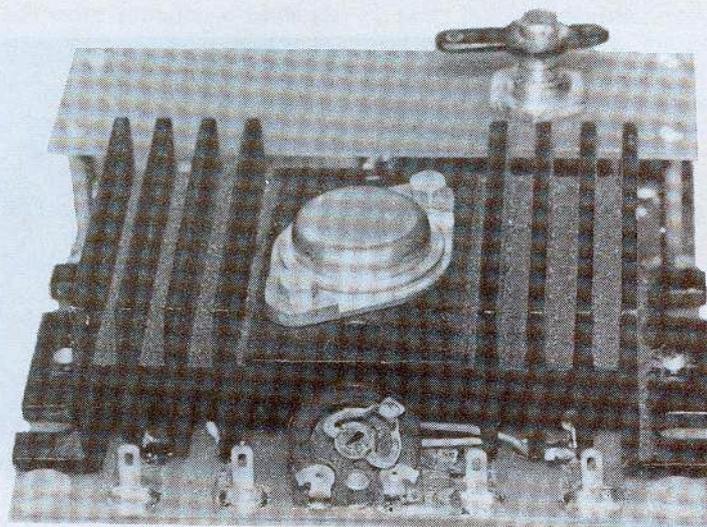


Photo 2 - Le variateur à rhéostat, vu côté branchements.

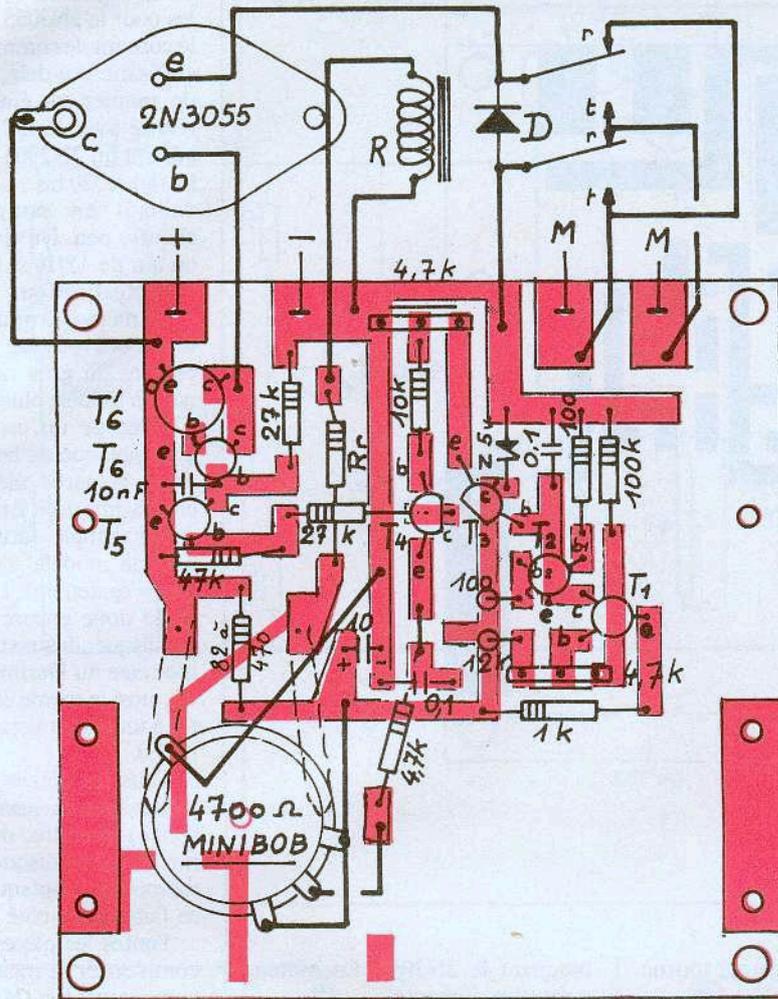


Fig. 24 - Pose des composants.

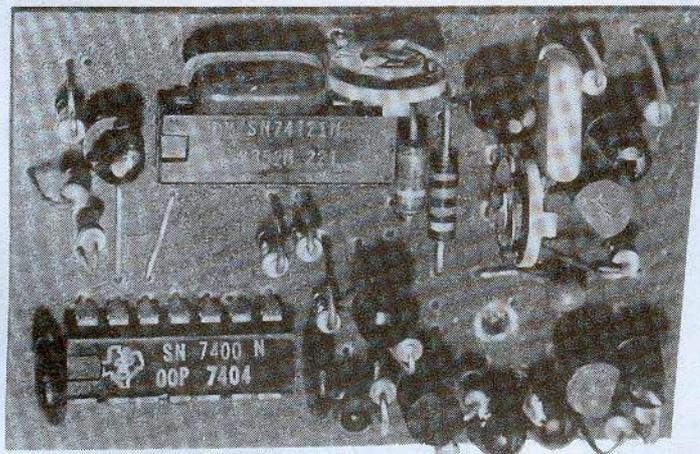


Photo 3 - Le convertisseur D/A qui sera décrit dans notre prochain numéro.

quence à 50 Hz, par comparaison avec le secteur.

Monter ensuite le 2N2926 qui suit avec le Minibob à point milieu. Placer aussi T<sub>5</sub> et sa résistance de collecteur de 27 k $\Omega$ . Brancher l'oscillo aux bornes de cette résistance et constater l'apparition du signal de découpage. Minibob au milieu, le collecteur du BC251 doit être à +12 V, il passe à 0 V si le Minibob est en fin de course. On obtient toutes les tensions intermédiaires en tournant le potentiomètre. Cet essai peut d'ailleurs suffire si on ne possède pas d'oscilloscope. Le potentiomètre ajustable d'émetteur de T<sub>3</sub> est à régler de manière que, Minibob dans la position limite qu'il prendra, par la manœuvre du servo-mécanisme (voir fig. 18), on obtienne bien les +12 V sur le collecteur de T<sub>5</sub>.

Terminer le montage en soudant T<sub>6</sub> (éventuellement T<sub>6'</sub>) et en reliant le 2N3055. Ne pas oublier la diode. Brancher l'ampoule 7 à 15 W en sortie et vérifier le fonctionnement correct. Brancher le moteur et essayer.

On peut maintenant connecter le relais. Sans brancher le moteur, procéder au calage du bras de commande, puis au centrage de la zone d'arrêt (fig. 18). Le variateur est alors prêt pour les essais réels.

Dans le cas de l'utilisation d'un moteur à très forte consommation ( $I > 1,5$  A) il est facile de monter 2 ou 3 transistors 2N3055 en parallèle, mais alors le Darlington d'attaque est indispensable.

#### Composants.

T : 1 x 2N3055, 3 x BC251, 2 x 2N2926 (BC170), 1 x 2N2646.

D : genre BY127, 1 zener 5,1 V, 400 mW.

R : 2 x 100  $\Omega$ , 1 x 1 k $\Omega$ , 1 x 10 k $\Omega$ , 1 x 12 k $\Omega$ , 2 x 27 k $\Omega$ , 1 x 47 k $\Omega$ , 1 x 100 k $\Omega$ , 1 x 82 à 470  $\Omega$ .

R<sub>r</sub> : selon relais et si on envisage des tensions batterie différentes.

Pot : 1 Minibob 4700  $\Omega$ , à point milieu.

2 ajustables 4700  $\Omega$ , type E097 debout.

C : 1 x 10 nF, 1 x 0,1  $\mu$ F type C280 ou MKM Siemens.

2 x 10  $\mu$ F tantale perle.

Relais 6 à 12 V, 2RT/1 à 3 A. (J02, Siemens...)

F. THOBOIS

(à suivre)