

Variateur Electronique Sans relais

Extrait du N°63 juin 1996 de
RC MARINE
Conception : Alain Belloy

Photos : Stephane Calgaro - Le montage est essayé et testé par Stephane Calgaro

Remarques pour toutes les photos :

fils jaunes(+ et -)=alim moteur

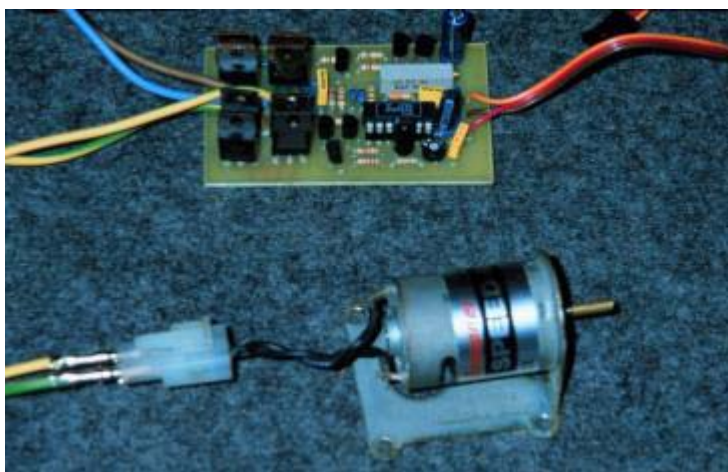
fils bleu= + entrée alim

fils marron= - entrée alim

nappe 3 fils= entrée signal récepteur (ici type Graupner) avec +,- et signal.

le "sucre" blanc allongé = résistance de 1KOhm ajustable (10tours) pour réglage du neutre

le minuscule rond noir avec croix blanche= résistance ajustable de 47KOhm pour ajustement du MAX vitesse moteur



Il m'arrivait souvent de parler de modèles réduits à des collègues de travail, jusqu'au jour où deux d'entre eux décidèrent de passer à l'action. Comme je pratique l'aéromodélisme, et à coup sûr par esprit de contradiction, ils optèrent pour le bateau.

Pas trop maladroits de leurs mains, ils choisirent de fabriquer eux-mêmes un maximum de choses, coque en bois, aménagements, etc. Leur choix se porta sur une vedette propulsée par deux moteurs du type Mabuchi 380. Pour la radio, l'un trouva une 4 voies d'occasion, l'autre acheta une 2 voies.

Restait la commande moteur. Le premier bateau à être mis à l'eau était équipé d'un système tout ou rien (un interrupteur) actionné par un servo mais son propriétaire espérait bien que je me mettrais au travail. Plus ou moins implicitement, j'avais été "désigné" pour réaliser des inverseurs variateurs électroniques. Je rassemblais donc tout ce que j'avais comme documentation sur le sujet, provenant soit de revues de modèles réduits avions soit de revues

d'électronique. Au total, il n'y avait pas grand chose, mais cela me permit quand même de démarrer.

Coup d'essai avec relais

Le premier montage était très didactique. L'inversion du sens de rotation était réalisée par un relais, la variation type PWM (Pulse Width Modulation, en bon français. modulation par largeur d'impulsions) commandait trois transistors bipolaires de puissance montés en parallèle. Il n'utilisait que des composants électroniques très classiques, des portes MOS de la série 40xx. Il fonctionnait très bien, avec des possibilités de réglages intéressantes, mais était affublé de quelques défauts.

- les transistors de puissance bipolaires consommaient et donc chauffaient trop: pertes, à améliorer,
- les relais sont souvent un des points faibles des montages électroniques. De plus ceux permettant de passer 10 à 16A, peu volumineux, légers et sous 6v, s'ils ne sont pas introuvables, ils ne sont pas non plus vraiment courants,
- en cas de perte de portée, le moteur se mettait plein gaz, et en cas de disparition de la tension récepteur, il faisait un peu n'importe quoi. Ces cas ne se sont jamais produits réellement, mais ils ont été mis en évidence lors des essais,
- le circuit imprimé était un peu grand... mais ça, c'est subjectif.

Le premier bateau fut donc "rétrofité" avec ce montage, le second en fut équipé dès le début. Ne voulant pas rester hors du coup mais n'ayant pas le temps de construire, j'équipais un canard en plastique échelle 1 de type "hélix in croupionem" (comme dirait Mr Géo Salmon). Tout cela naviguait joyeusement pendant que je cherchais des remèdes aux imperfections citées plus haut. J'avais trouvé une solution aux trois premiers points (au détriment du quatrième) lorsque je découvris par hasard un circuit intégré : le ZN 409. Deux des solutions destinées au premier montage allaient être utilisées avec ce nouveau circuit.

Les transistors de puissance

Ceux d'origine devaient être remplacés par des Mosfet un peu particuliers. Là, une explication détaillée s'impose. L'échauffement de ces transistors est lié à leur résistance interne. Traversée par le courant important qui alimente le moteur et soumise à la loi de Joule ($P=RI^2$), cette résistance engendre de grosses pertes qui se traduisent par un dégagement de chaleur. Cela est mis en évidence en mesurant la tension collecteur-émetteur des transistors ($U=RI$). Certains concepteurs ont cru régler le problème en utilisant des Mosfet classiques genre Buz xx, IRF xx, etc. En fait, il n'en est rien pour ce type d'utilisation. En effet, il faut que la polarisation de la grille atteigne un certain niveau pour que la saturation soit correcte et que la résistance interne soit minimum. Pour les transistors cités précédemment, la tension grille doit être d'environ 8v pour y parvenir. Sur nos modèles, les tensions disponibles sont généralement trop faibles. Une batterie de 6 éléments vous indiquera environ 9v en fin de charge, mais mesurez donc sa tension (après dix minutes - un quart d'heure de navigation) tout en marche, hélice(s) dans l'eau ! Il est possible d'ajouter un doubleur de tension pour y parvenir, mais ça augmente la complexité du montage et le nombre de composants. Depuis peu, de nouveaux Mosfet dont la grille est compatible avec les niveaux logiques TTL sont disponibles sur le marché : ceux-ci sont correctement saturés à 5v, tension plus facile à trouver sur nos modèles réduits. J'ai opté pour des Buk 553-60B et réalisé quelques mesures et comparaisons. En voici une que je trouve particulièrement significative : j'utilise une petite

chignole comme charge, connectée à une alimentation stabilisée 12v et à un module de puissance composé soit d'un MJE 3055 (archétype du transistor bipolaire couramment dédié à cette tâche et dont IB est "pinailé" pour obtenir la meilleure saturation possible) soit un BUK 553-60B dont la grille est alimentée soit 4,8v. Le moteur consomme 200mA.



Dans ces conditions on obtient :

- VCE du MJE 3055 env. 700 mv
- VDS du BUK 553 environ 20 mv (VDS pour un Mosfet est l'équivalent de VCE d'un bipolaire).

Dans le premier cas, la perte représente 58,3% d'un élément NiCad (1,2v nominal) d'une batterie, dans le second seulement 1,6% . . .

Si maintenant, on refait la même expérience avec dans les deux cas deux transistors en parallèle, la tension chute un peu aux bornes des MJE 3055 mais pas de manière significative alors qu'elle est divisée par 2 avec des BUK 553... On améliore donc le résultat en montant plusieurs Mosfet en parallèle. Les températures suivent, le(s) bipolaire(s) chauffe(nt) alors que le(s) autre(s) reste(nt) totalement froid(s). Dans la . suite du texte et dans le schéma, l'identification d'un transistor suivie de trois points

(ex : T7... ou TB...) signifie qu'il s'agit d'un module qui peut être constitué de plusieurs transistors identiques en parallèle. Si vous doublez un module, vous devez doubler tous les autres : si vous en triplez un, vous devez tripler les autres, etc.

Le relais



Sa suppression est en fait liée à l'amélioration du point précédent. Puisque les pertes dues aux transistors de puissance peuvent être minimisées, il devient possible d'utiliser un montage en "H" à condition d'être sûr que deux éléments en ligne sur une même branche ne conduisent pas en même temps. Reste à trouver les Mosfet canal "P", complémentaires des BUK 553 (qui eux sont à canal "N"). Ils sont disponibles aussi, j'ai choisi des 2 SJ 174. L'intensité que l'un et l'autre peuvent supporter est largement supérieure à celle des contacts des relais de taille et de poids compatibles avec ce type de montage.

Les autres points

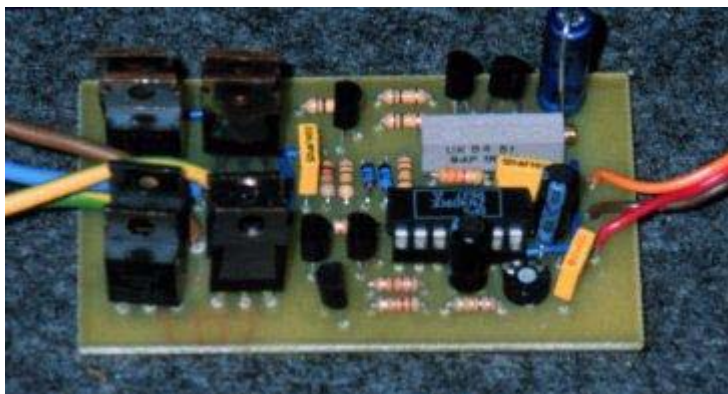
Les solutions trouvées pour pallier la perte de portée ou la disparition de la tension récepteur n'auront pas à être mises en oeuvre puisque le ZN 409 y remédie

par fabrication : dans les deux cas, le moteur s'arrête. Quant à la taille du montage, elle est réduite de moitié... Que pourrait-on demander de plus.

Le ZN 409

C'est un circuit spécialisé assez ancien puisque la fiche technique le concernant que j'ai pu me procurer est datée de 1984. Son utilisation principale semble être la réalisation de servos. Il délivre des signaux PWM dont le rapport cyclique est fonction de la position du manche de l'émetteur. Pour mieux comprendre son fonctionnement, j'ai donc commencé par reproduire un des montages inverseur-variateur - à relais - décrit dans la fiche. Après quelques mesures et un peu de réflexion, le relais pouvait, de toute évidence, être supprimé en adaptant la solution prévue pour le premier montage. Cette possibilité s'est ensuite confirmée.

Commentaires sur certains composants



- CR : pour la valeur proposée par la fiche technique ($22\mu\text{F}$), dans certains cas, il se produit une irrégularité de fonctionnement (des à coups) à la sortie de la zone morte, c'est-à-dire au ralenti. En portant cette valeur à $100\mu\text{F}$ le phénomène n'a jamais été constaté.
- CD : définit la largeur de zone morte autour du neutre du manche : 10 nF est un minimum, 68 nF un maximum, 33 ou 47 nF donnent de bons résultats.

– CC, PC et RC : sont les composants extérieurs d'un monostable dont la durée du palier correspond au neutre de la commande. Celui-ci pourra donc être réglé selon le besoin – position du manche – avec PC. Les valeurs sont celles données par la fiche technique : CC = 0,1 μ F (chimique ou plastique), PC = 1 k Ω (potentiomètre 10 tours nécessaire) et RC = 3,3 k Ω

- CE, RE+PE avec T3 et la résistance de 12 k Ω réalisent une expansion "dynamique" des créneaux. C'est ce circuit qui permet d'obtenir une plage étendue des variations. $0,47\mu F < CE < 2,2\mu F$, PE = 47k Ω et RE = 10 k Ω ; de bons résultats ont été obtenus avec CE = 2,2 μ F.

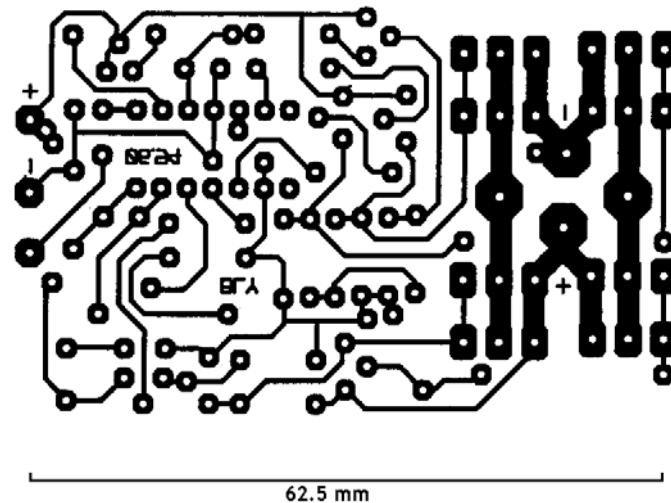
T1 est un NPN universel petits signaux (genre 2N 2222, BC 548 etc).

- T2, T3 et T4 sont des PNP universels petits signaux (genre 2N 2907, BC 558, etc).
- T5 et T6 sont des BS 170 (FET petits signaux)
- T7... est un module composé d'au moins un Mosfet canal N. Plusieurs transistors du même type peuvent être branchés en parallèle (deux, sur le circuit imprimé qui vous est proposé). J'ai utilisé des BUK 553-60B mais il en existe d'autres qui peuvent convenir : IRL Zxx, MTPxx N05L... Le BUK 553 supporte 20A en continu et des impulsions de 80A. Cette branche du "H" reçoit les créneaux de la patte 5 au travers de T3 alors que T8... est saturé en permanence, T9... et T10... étant bloqués.
- T8... est un module composé d'au moins un Mosfet canal P. Plusieurs transistors du même type peuvent être branchés en parallèle (deux, sur le circuit imprimé qui vous est proposé J'ai utilisé des 2SJ 174 mais il en existe probablement d'autres qui peuvent convenir. Le 2 SJ 174 supporte 20A en continu et des impulsions de 80A comme le BUK.
- T9... nombre et caractéristiques identiques à T7... Cette branche du "H" reçoit les créneaux de la patte 9 au travers de T2 alors que T10... est saturé en permanence. T7... et T8... étant bloqués.
- T10., nombre et caractéristiques identiques à T8...
- Ne tentez pas de mettre une diode de "roue libre" sur le moteur, vous n'y parviendriez pas et c'est inutile car les BUK 553 et 2 SJ 174 sont munis d'une diode de protection à la fabrication.

Caractéristiques

La partie alimentée par la tension du récepteur fonctionne de 4 à 6v, sa consommation est d'environ 10 à 20 mA. Pour la partie puissance, j'ai vérifié le fonctionnement dans une fourchette de 4 à 15v. Avec un seul transistor pour les modules T7..., T8..., T9..., T10... sans radiateur, vous pouvez monter à 10A. avec radiateur jusqu'à 15A, valeurs qui doublent avec 2 transistors par module, triplent avec 3, etc...

Réalisation

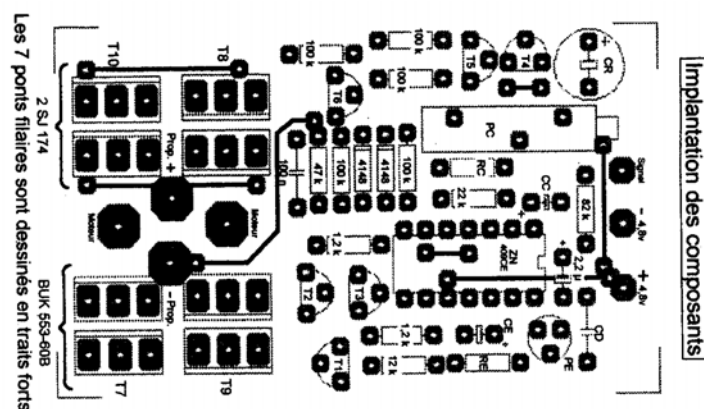


Pour qu'il soit à la portée du plus grand nombre, tous les composants et les techniques à mettre en oeuvre dans ce montage sont des plus classiques. Les lecteurs qui se lanceront dans cette réalisation, soit maîtrisent la fabrication des circuits imprimés, soit ont "le copain qui connaît" et qui va donner le coup de main nécessaire. Chacun fera donc selon la technique dont il dispose. Le circuit devra être réalisé de manière à

ce que les lettres et la date qui paraissent sur le typon soient lisibles, à l'endroit sur le cuivre. Ne soudez pas T9... et T10... dans l'immédiat (voir les réglages).

Réglages

Vérifiez bien que vous n'avez soudé ni T9... ni T10... Mettez les deux potentiomètres approximativement à mi-course. Si vous en avez un, utilisez votre servo-test, si vous n'en avez pas, vous êtes impardonnable, tellement c'est simple à réaliser ; vous serez donc condamnés à sortir tout le matériel : émetteur, récepteur, etc. Branchez un moteur, si possible un de ceux que le montage devra faire fonctionner et avec les précautions d'usage en ce qui concerne un moteur (qui va peut être démarrer plein gaz !...), manche au neutre, mettez sous tension. Si rien ne se passe, déplacez le manche dans les deux sens : il devrait tourner quelque part. S'il ne tourne toujours pas, faites varier PC tour par tour et "baladez" le manche dans les deux sens. Lorsque vous aurez obtenu une rotation, vérifiez que c'est bien dans le sens qui correspond à celui de déplacement du manche, sinon inversez les fils au moteur. Positionnez le manche à l'endroit où vous désirez avoir le neutre (qui peut très bien ne pas correspondre à position médiane de celui-ci) et réglez PC pour obtenir le démarrage à un ou deux crans – zone morte oblige – de cette position. Maintenant, poussez le manche à fond. Si, au bruit le moteur n'est pas plein régime, tournez PE pour y parvenir ; s'il l'est, toujours avec PE, faites le ralentir puis revenez en arrière de quelques degrés pour obtenir les pleins gaz. Si le moteur tourne dès la mise sous tension, arrêtez-le avec PC puis reprenez la procédure décrite ci-dessus. Lorsque les réglages précédents ont été effectués et seulement à ce moment, soudez T9... et T10... Vérifiez que le moteur tourne bien dans les deux sens et reprendre légèrement PC si nécessaire ; PC ne devrait pas être retouché. Si vous disposez d'un contrôleur, vous pouvez le brancher entre drain et source de T7... ou de T9... et reprendre PE pour obtenir la plus faible tension possible.



Pour finir

Si vos besoins en courant dépassent 30A, il vous faudra modifier le circuit pour 3, 4... transistors par module. Le mieux serait peut-être un second circuit qui ne comprendrait que les modules de puissance...

Un boîtier n'est pas obligatoire. Avec un seul transistor par module pour commander un Mabuchi 380 réducté, l'échauffement est nul. J'ai donc tout simplement emballé mon montage dans une pochette plastique. ça fonctionne comme ça depuis plusieurs mois. Pour les modélistes isolés (dont je fais partie), il est possible de se procurer les composants nécessaires auprès de deux maisons de vente par correspondance (publicité gratuite) :

- Farnell Electronic Components 745, avenue de l'Europe 69400 Villefranche/ Saône Tél 74 65 94 16.
- [Radiospares](#) composants rue Norman King, BP 453 – 60031 Beauvais cedex Tél : 44 84 72 72.

Listes des composants

Composants passifs

Condensateur	47n(*)	1
Condensateur	100n	1
Condensateur	0,1μ (*)	1
Condensateur chimique	2,2μ (*)	2
Condensateur chimique	100μ (*)	1
Potentiomètre 10 tours	1k	1
Potentiomètre	47k	1
Résistance	1,2k	2
Résistance	3,3k	1
Résistance	10k	1
Résistance	12k	1

Résistance	22k	1
Résistance	47k	1
Résistance	82k	1
Résistance	100k	5

Les composants marqués d'un * peuvent prendre d'autres valeurs, voir texte. Toutes les résistances 1/4W, tous les condensateurs 10V

Semi-conducteurs

Diode	1N4148	2
T1 (NPN universel)	BC 548	1
T2, 3, 4 (PNP universels)	BC 558	3
T5	BS 170 2	2
T7 . . .	BUK 553-60B	1min*
T8 . . .	2SJ 174	1min*
T9 . . .	BUK 553-60B	1min*
T10 . . .	2 SJ 174	1min*
Circuit intégré	ZN 409CE	1

* un ou plusieurs par module, voir texte