

# Variateur Electronique avec marche arrière et système B.E.C. pour moteur 6V

## I. Présentation

Ce variateur électronique faible coût a été conçu en évitant les circuits spécialisés tels que le ZN409 et le NE544 qui deviennent quasiment introuvables.

Il n'utilise exclusivement que des circuits intégrés classiques de la famille CMOS (la série 40xx), circuits, qui existeront toujours dans 20 ans, à la différence des circuits précités ...

Il est doté d'une marche avant, d'une marche arrière, d'un système BEC et d'un moniteur d'alimentation. La marche arrière est réalisée à l'aide d'un relais afin d'éviter l'emploi des coûteux transistors MOS canal P. Le système BEC est réalisé avec un régulateur 5V faible perte pouvant délivrer 1A.

Le moniteur d'alimentation rend le système BEC (radio) prioritaire par rapport au moteur si la tension batterie descend trop bas.

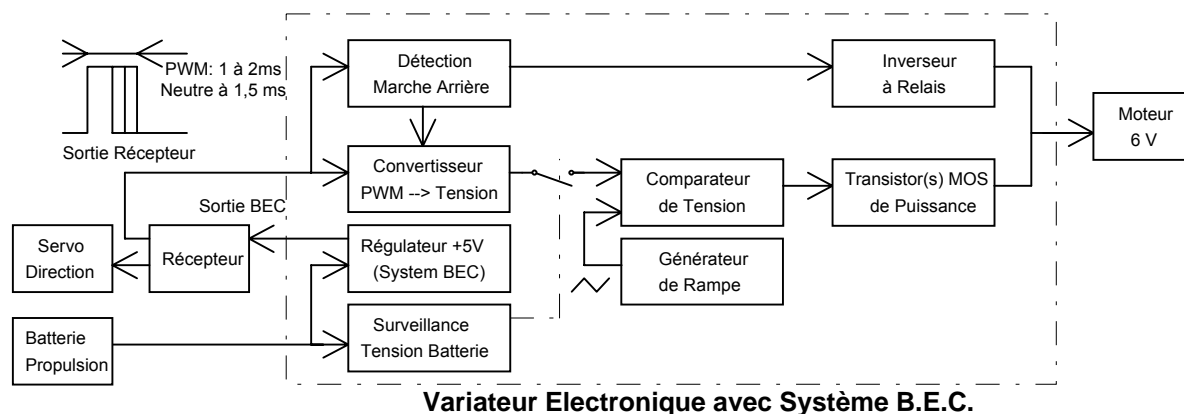
Les seuls composants légèrement exotiques sont : le régulateur 5V faible perte, le double comparateur de tension et le ou les transistors MOS de puissance. Ces derniers pourront être facilement remplacés par des équivalents.

Ce variateur pourra donc être réparé sans difficulté dans 20 ans...

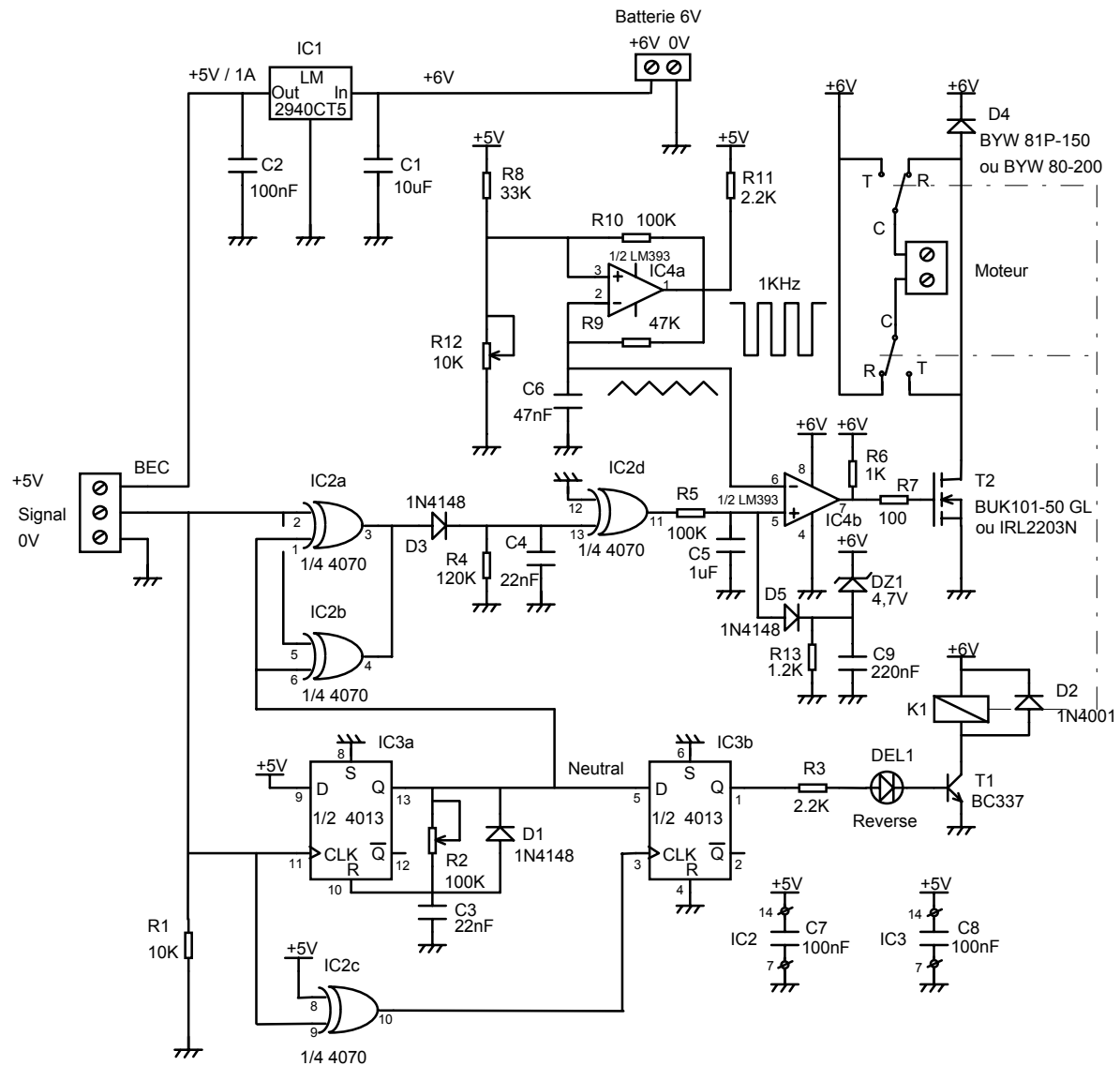
Ces contraintes impliquent donc l'utilisation de trois circuits intégrés (à 0,5 €) pour recréer les fonctionnalités intégrées dans le ZN409, par exemple. Ceci se traduit par un variateur légèrement plus volumineux.

Le prix de revient (hors circuit imprimé et boîtier) pour la version utilisant un seul transistor MOS 50A (Ron=0,009Ω) est d'environ 15 €. Ensuite, il convient d'ajouter environ 4 € par transistor MOS supplémentaire. Il est essentiellement destiné aux moteurs de la série 400.

## II . Principe



### III. Schéma



## IV. Nomenclature

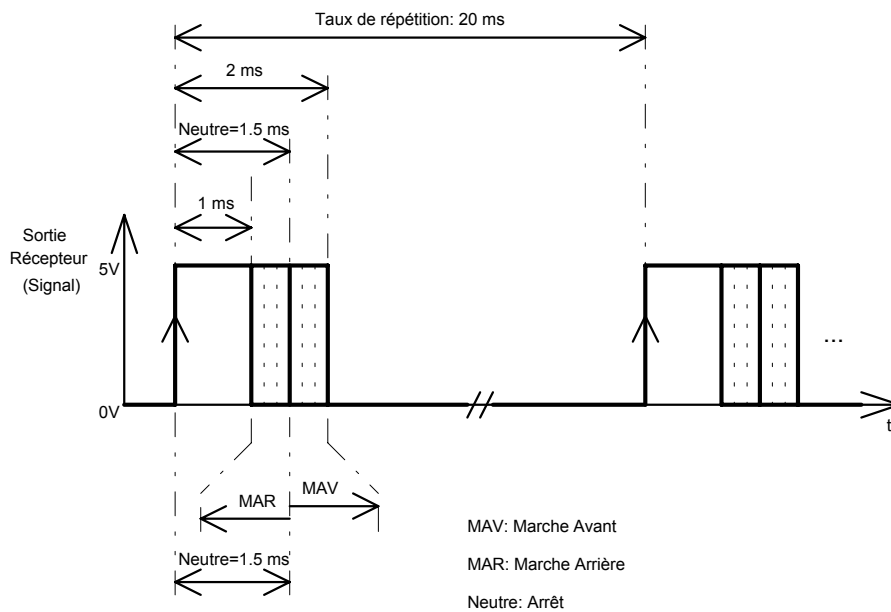
Repère	Valeur	Référence	Désignation	Remarque
<b>Résistances</b>				
R1	10K		Résistance 1/4W	
R2	100K		Ajustable multi-tours	
R3	2,2K		Résistance 1/4W	
R4	120K		Résistance 1/4W	
R5	100K		Résistance 1/4W	
R6	1K		Résistance 1/4W	
R7	100		Résistance 1/4W	
R8	33K		Résistance 1/4W	
R9	47K		Résistance 1/4W	
R10	100K		Résistance 1/4W	
R11	2.2K		Résistance 1/4W	
R12	10K		Ajustable multi-tours	
R13	1,2K		Résistance 1/4W	
<b>Condensateurs</b>				
C1	10uF		Condensateur électro-chimique 16V ou plus	
C2	100nF		Condensateur Milfeuil	
C3	22nF		Condensateur Milfeuil	
C4	22nF		Condensateur Milfeuil	
C5	1uF		Condensateur électro-chimique 16V ou plus	
C6	47nF		Condensateur Milfeuil	
C7	100nF		Condensateur Milfeuil	
C8	100nF		Condensateur Milfeuil	
C9	220nF		Condensateur Milfeuil	
<b>Circuits Intégrés</b>				
IC1		LM 2940 CT 5	Régulateur 5V low drop 1A	
IC2		CD4070	Quadruple Ou Exclusif à 2 entrées	
IC3		CD4013	Double bascule D avec Set et Reset	
IC4		LM 393	Double comparateur Mono Tension	
<b>Diodes</b>				
D1		1N4148	Diode faible signal	
D2		1N4001	Diode 1A	
D3		1N4148	Diode faible signal	
D4		BYW 81P-150	Diode Schottky 15A	
D5		1N4148	Diode faible signal	
DZ1		BZX55C4V7	Diode Zener 4,7V	
DEL1			LED 3mm rouge haut rendement (IF=2mA)	
<b>Transistors</b>				
T1		BC 337	Transistor NPN petit signal	
T2 à T2'''		IRL2203N	Transistor MOS canal N 116A Ron=0.007 Ohm	Qté selon puissance
<b>Relais</b>				
K1			Relais 6 V 2RT 5A ou plus	
<b>Divers</b>				
IC2			Support CI tulipe 14 broches	
IC3			Support CI tulipe 14 broches	
IC4			Support CI tulipe 8 broches	

## V. Description du fonctionnement :

### V.1. Rappel des caractéristiques du Signal en sortie du Récepteur:

Le signal de commande sortant du récepteur est un signal rectangulaire de fréquence fixe (50 Hz => période 20 ms) et de rapport cyclique variable. La commande se fait en largeur d'impulsion (MLI ou PWM). La largeur varie entre 1 et 2 ms avec le neutre naturellement calé à 1,5 ms.

#### Caractéristique du Signal en sortie du Récepteur



### V.2. Génération de l'Impulsion de Référence du Neutre

Pour détecter la marche arrière, il suffit de déterminer si l'impulsion délivrée par le récepteur est inférieure ou supérieure à 1,5 ms.

Dans un premier temps, nous allons générer une impulsion de référence de largeur fixe et égale à 1,5 ms (Neutral).

Cette opération peut être réalisée au moyen d'un monostable calé sur 1,5 ms.

Celui-ci est déclenché par le front montant de l'impulsion sortant du récepteur.

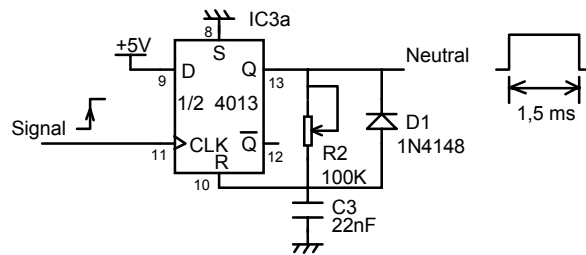
Ce monostable est construit autour d'une bascule D type CD4013.

Le fonctionnement d'une bascule D est très simple : sa sortie Q recopie l'état présent sur l'entrée D au moment du front montant de son entrée horloge (CLK). Cet état restera mémorisé sur sa sortie Q au moins jusqu'au prochain front montant d'horloge.

Un niveau haut sur les entrées Set et Reset force respectivement à 1 et 0 la sortie Q.

La sortie Q\ est toujours complétée par rapport à la sortie Q.

## Génération de l'Impulsion de Référence du Neutre (1,5 ms)



Le fonctionnement est le suivant :

Supposons que la sortie Q soit initialement à 0V.

Le front montant du signal d'entrée provoque la propagation de l'état présent sur l'entrée D vers la sortie Q. Comme l'entrée D est en permanence à +5V, la sortie Q va passer à +5V.

Le condensateur C3 va alors se charger à travers R2. Quand la tension aux bornes du condensateur aura atteint  $V_R \approx 3V$  (tension de seuil du Reset), l'entrée Reset devient active et force instantanément la sortie Q à 0V. Le condensateur va alors se décharger instantanément à travers la diode D1.

La durée de l'impulsion de sortie est donc la durée que met le condensateur à se charger de 0V à +3V. La durée de l'impulsion de sortie est indépendante de celle d'entrée.

Cette durée est donnée par la formule suivante :

$$T(s) = R2 \cdot C3 \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{V_R}{V_{DD}}}\right) \quad \text{avec } V_R \approx 3V \text{ et } V_{DD} = 5V$$

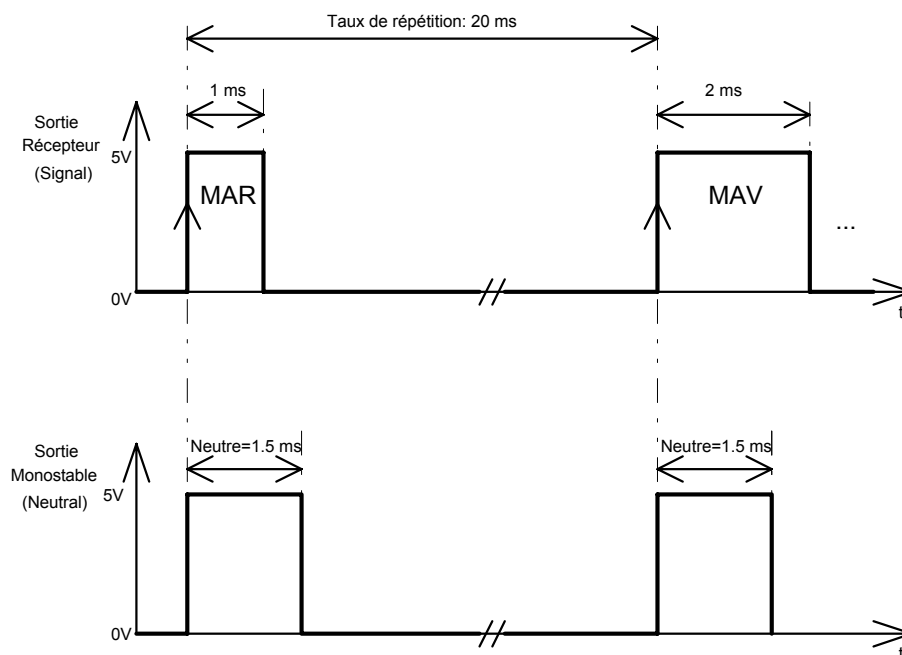
$$T(s) = 0,91 \cdot R2 \cdot C3$$

Avec  $R2$  réglé à  $75K\Omega$  et  $C3=22nF$ , on obtient :

$$T(s) = 0,91 \cdot 75 \cdot 10^3 \cdot 22 \cdot 10^{-9}$$

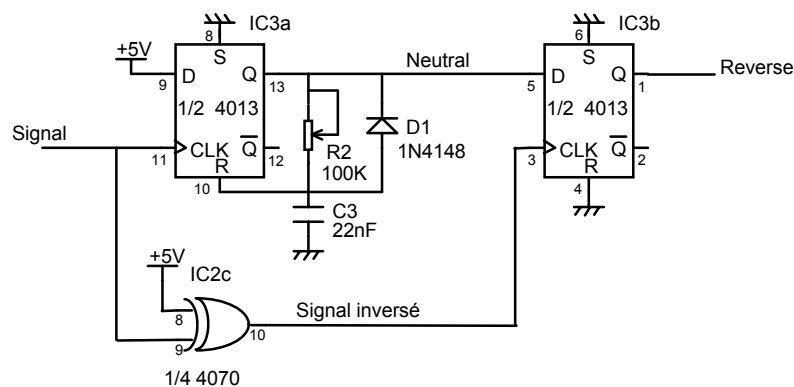
$$T \approx 1,5 \text{ ms}$$

## Le Monostable: détection du neutre (Limite de la Marche Arrière)



### V.3. Génération du Signal de Marche Arrière :

Maintenant que nous disposons d'une impulsion de référence (Neutral) de largeur correspondant au neutre (1,5 ms), nous allons comparer cette impulsion avec celle délivrée par le récepteur. Ceci se fait très simplement à l'aide d'une bascule D (IC3b). Ce signal de marche arrière (Reverse) commande la bobine du relais d'inversion de polarité du moteur.



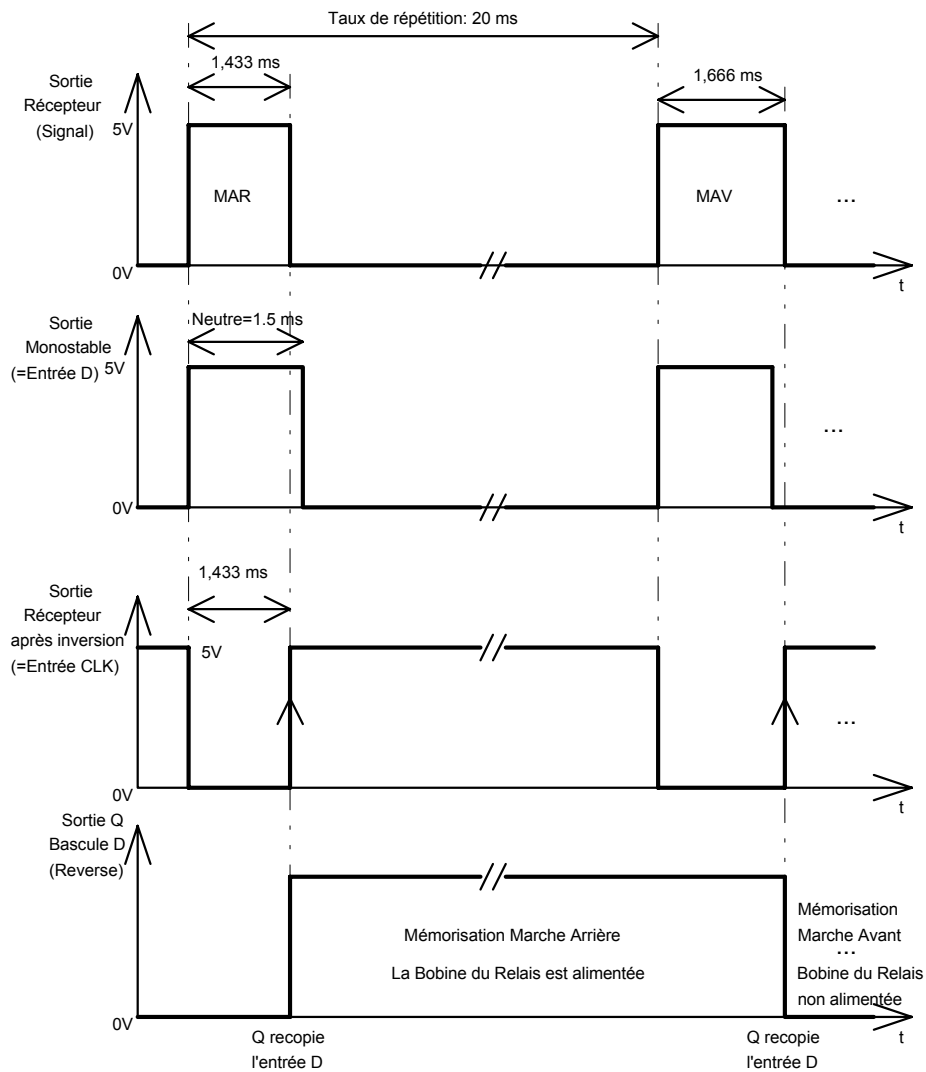
C'est l'état de la sortie du monostable au moment du front descendant du signal provenant du récepteur qui active ou pas la marche arrière.

Comme les bascules D fonctionnent uniquement sur front montant, il suffit d'inverser le signal. Ainsi, les fronts descendants deviennent des fronts montants et inversement.

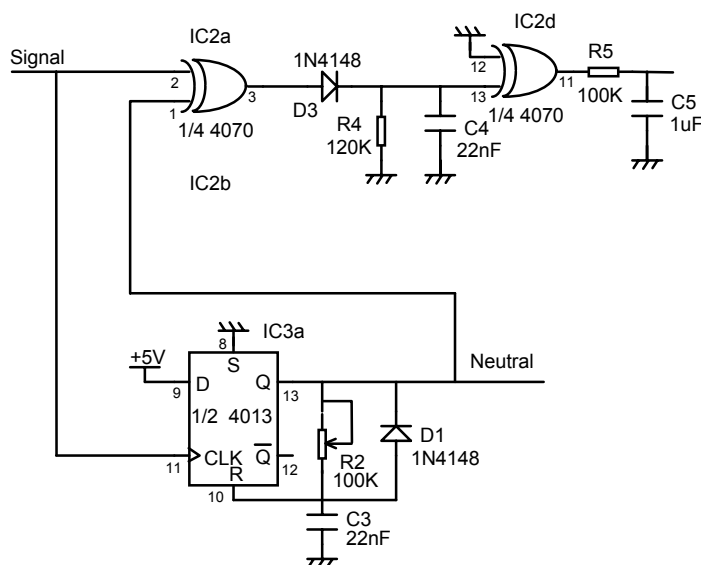
L'inversion est réalisée à l'aide d'une porte logique OU exclusif (IC2c : 1/4 CD4070).

Les chronogrammes suivants illustrent la génération du signal de marche arrière.

## Génération du Signal de Marche Arrière ( impulsion < 1,5 ms )



## V.4. Exploitation du Signal PWM en Marche Avant et Arrière:



Nous avons vu précédemment que le front montant du signal issu du récepteur déclenchait le monostable de Neutre.

Pour récupérer le signal modulé en largeur d'impulsion (MLI ou PWM), nous allons faire un « OU exclusif » entre le signal issu du récepteur et l'impulsion du monostable de Neutre.

Ceci permet de récupérer le signal proportionnel aussi bien en Marche Avant qu'en Marche Arrière.

Dans le cas de la Marche Avant, c'est la largeur du signal issu du récepteur qui est supérieure à la largeur de l'impulsion du monostable. Dans le cas de la Marche Arrière, c'est strictement l'inverse.

En résumé, la largeur de l'impulsion en sortie du « OU exclusif » (sortie 3 de IC2a) correspond à la différence entre la largeur du signal issu du récepteur et la largeur de l'impulsion du monostable de Neutre.

L'assemblage D3, R4, C4 permet d'allonger de 1,25 ms l'impulsion différence en sortie du « OU exclusif » afin de récupérer une tension moyenne bien au-dessus de la masse.

L'impulsion de sortie varie donc de  $0+1,25=1,25\text{ms}$  à  $0,5+1,25=1,75\text{ms}$ .

Le fonctionnement est le suivant :

Lorsque la sortie 3 passe à 1, R4 se charge quasi instantanément jusqu'à +5 V à travers D3, la sortie 11 du « OU exclusif » de IC2d passe alors à +5 V. Lorsque la sortie 3 de IC2a repasse à 0, D3 oblige C4 à se décharger « lentement » à travers R4.

Lorsque la tension à ses bornes atteint  $5/2=2,5\text{V}$ , la sortie 11 du « OU exclusif » de IC2d passe alors à 0V.

La largeur d'impulsion en sortie 11 varie de 1,25 à 1,75 ms en fonction de la position du manche de l'émetteur. Ceci est vrai aussi bien en marche avant qu'en marche arrière.

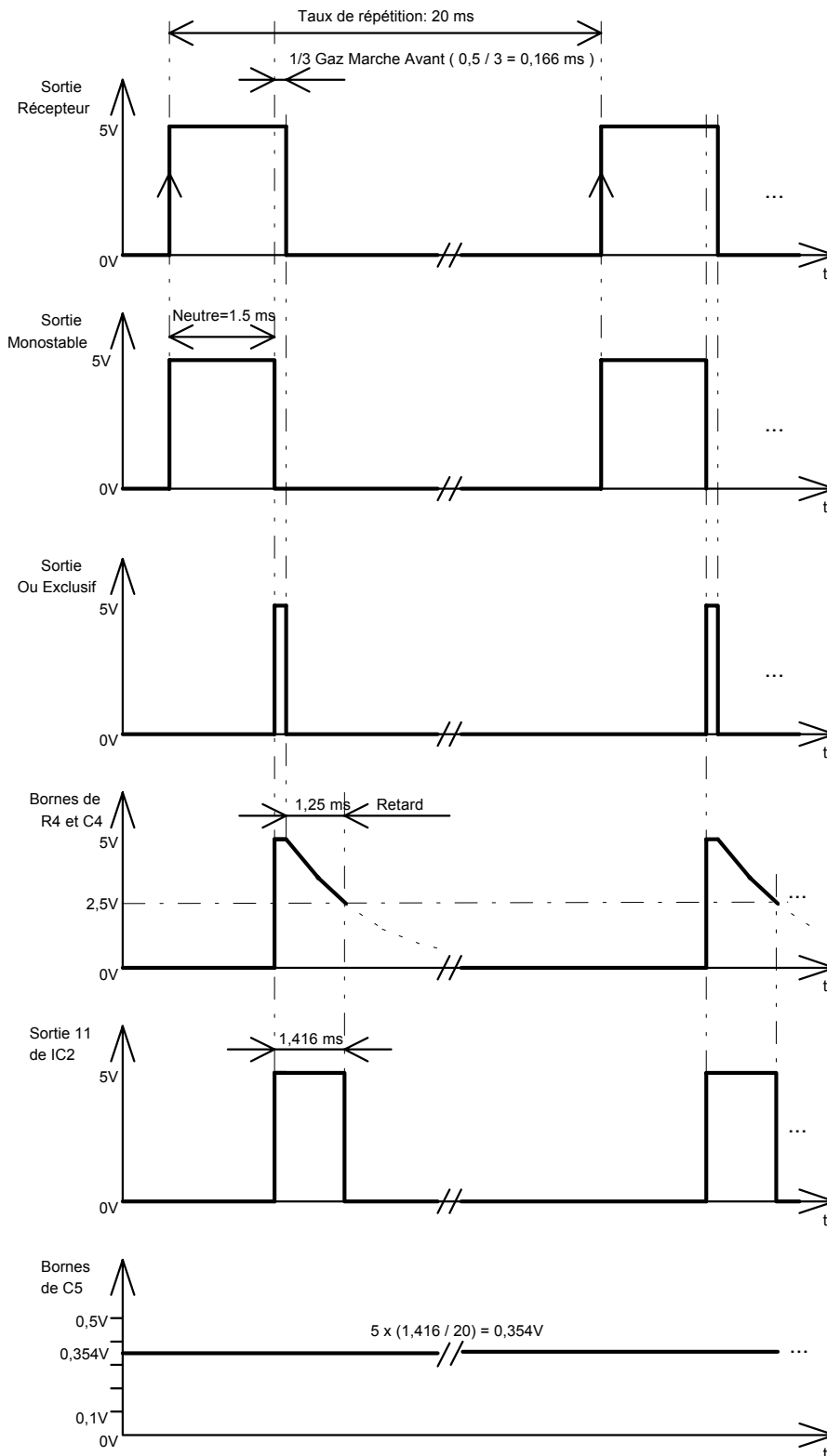
Ces impulsions se répètent toutes les 20 ms.

R5 et C5 forment un filtre passe-bas. On récupère donc aux bornes de C5 une tension continue correspondant à la valeur moyenne de la tension.

$$V_{moy}(V)=5 \cdot \frac{\text{Largeur Impulsion}}{20\text{ms}} \quad \text{avec } 0,3125\text{V} < V_{moy} < 0,4375\text{V}$$

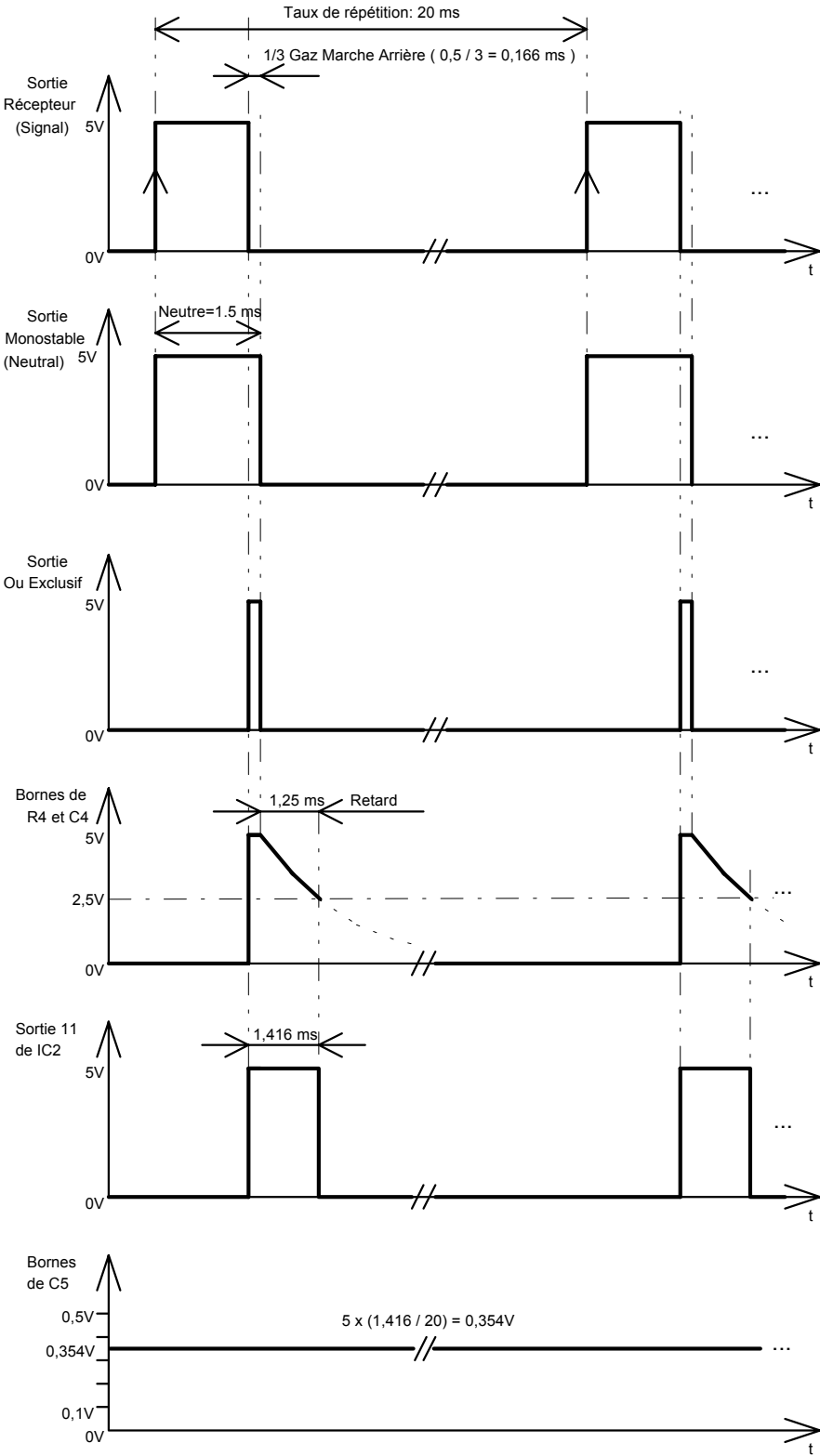


### Cas de la Marche Avant: ( 1,5 ms < impulsion < 2 ms )



Le principe est strictement le même pour la marche arrière ( 1 ms < impulsion < 1,5 ms ).

**Cas de la Marche Arrière: ( 1 ms < impulsion < 1,5 ms )**



## V.5. Le Générateur de Rampe (Signal Triangulaire)

Aux bornes de C5, nous récupérons donc une tension continue dépendante de la largeur d'impulsion PWM ou MLI régie par la relation suivante :

$$V_{moy}(V) = 5 \cdot \frac{\text{Largeur Impulsion}}{20\text{ms}}$$

Que l'on soit en marche avant ou en marche arrière, la largeur d'impulsion varie de 1,25 à 1,75 ms, ce qui correspond à une tension moyenne variant de 0,3125V à 0,4375V aux bornes de C5.

A partir de cette fourchette de tension, nous devons commander le moteur de 0 à 100% de son régime.

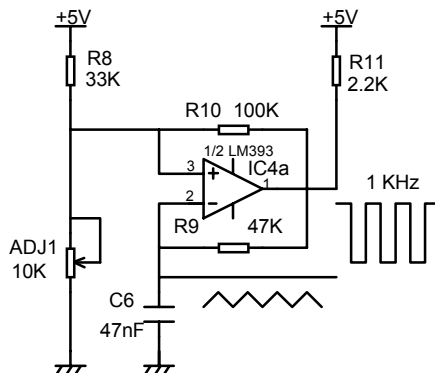
Ceci est facilement réalisé en comparant cette tension continue à un signal triangulaire. Nous allons utiliser un double comparateur de type LM393 (IC4) pour effectuer la comparaison, mais également pour générer le signal triangulaire (IC4a).

Note : Le fonctionnement d'un comparateur de tension est le suivant :

Si la tension présente sur l'entrée + est supérieure à celle présente sur l'entrée -, la sortie du comparateur bascule à +5V (si la résistance connectée à la sortie est reliée au +5V).

Par contre, si la tension présente sur l'entrée + est inférieure à celle présente sur l'entrée -, la sortie du comparateur bascule à 0V.

### Le Générateur de Rampe (Signal Triangulaire)



A la mise sous tension, le condensateur C6 est déchargé, la tension sur l'entrée - vaut 0V. La tension sur l'entrée + est forcément supérieure à 0V, la sortie du comparateur est à +5V. La tension sur l'entrée + vaut une valeur que l'on appellera SH (Seuil Haut).

C6 va alors se charger à travers R9 de 0V à +5V. Mais lorsque la tension à ses bornes aura dépassé SH, on aura V- supérieure à V+. La sortie du comparateur va basculer à 0V.

La tension sur l'entrée + vaut une valeur que l'on appellera SB (Seuil Bas).

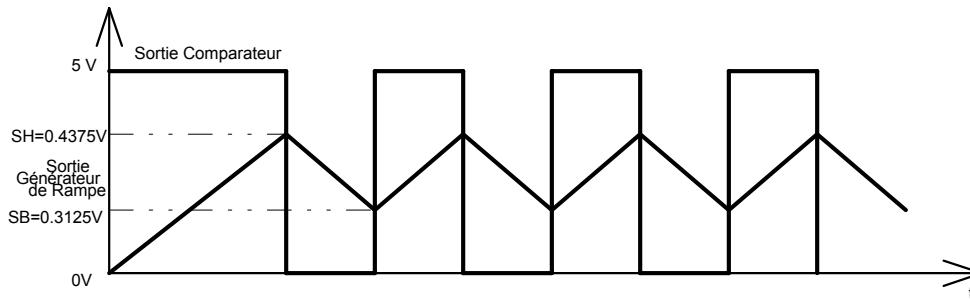
C6 va alors se décharger à travers R9 de SH à 0V. Mais lorsque la tension à ses bornes sera passée sous SB, on aura V+ supérieure à V-. La sortie du comparateur va basculer à +5V.

La tension sur l'entrée + vaut de nouveau SH.

C6 va alors se charger à travers R9 de SB à +5V. Mais lorsque la tension à ses bornes aura dépassé SH, on aura V- supérieure à V+. La sortie du comparateur va basculer à 0V.

On vient d'atteindre le régime établi. Le cycle se répète indéfiniment.

R9 et C6 fixent uniquement la fréquence qui est de l'ordre de 1 KHz.



Nous avons vu précédemment que la tension moyenne aux bornes de C5 variait en fonction de la position du manche de l'émetteur de 0,3125V à 0,4375V. Afin de faire varier le régime du moteur de 0 à 100%, nous allons caler le seuil SB à 0,3125V et le seuil SH à 0,4375V.

Détermination des deux seuils :

- Le seuil haut (SH) est défini lorsque la sortie du comparateur vaut +5V, et vaut :

$$SH = V \cdot \frac{R1}{R1 + (R8 // R10)}$$

$$SH \approx 0,41V$$

- Le seuil bas (SB) est défini lorsque la sortie du comparateur vaut 0V, et vaut :

$$SB = V \cdot \frac{R1}{R1 + R8}$$

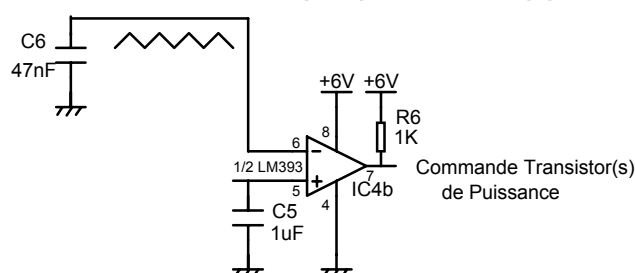
$$SB \approx 0,3125V$$

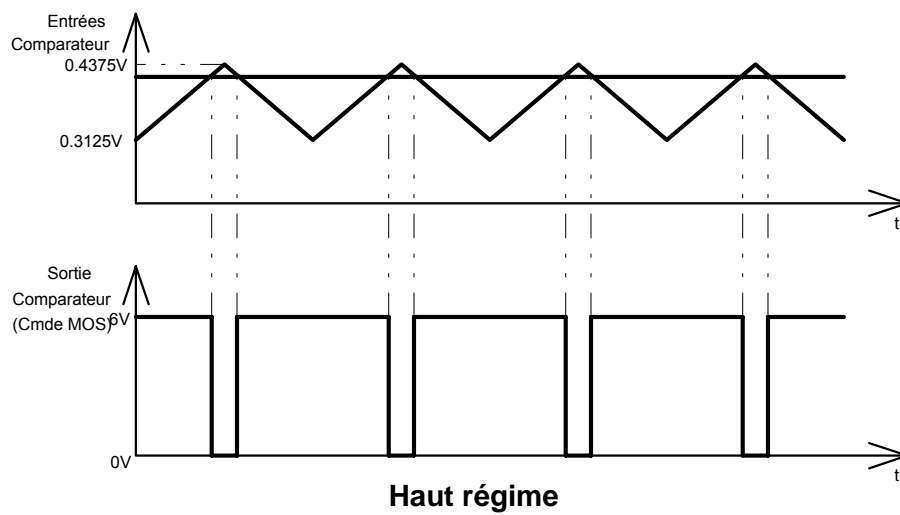
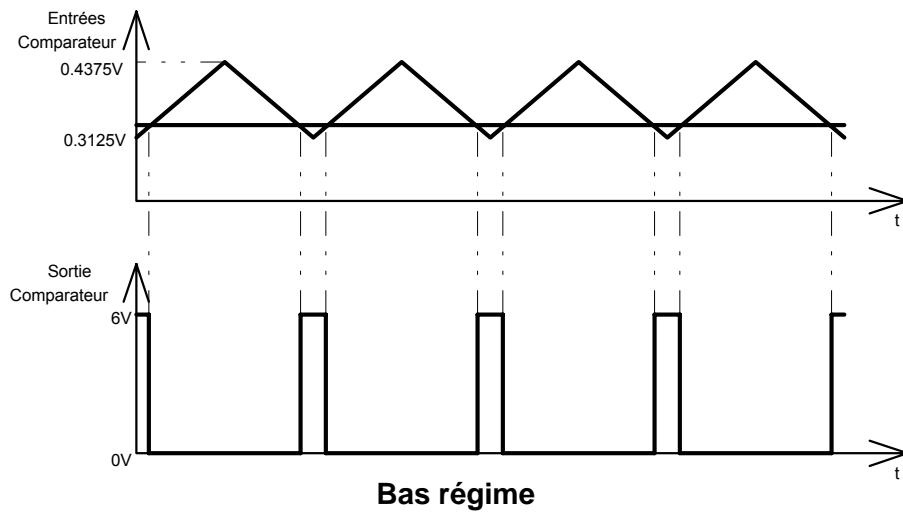
Ces valeurs sont obtenues avec  $V=+5V$ ,  $R8=33K\Omega$ ,  $R10=100K\Omega$ , et  $R1=ADJ1$  réglé à  $\approx 2,2K\Omega$ .

## V.6. Signal de commande du transistor MOS de puissance

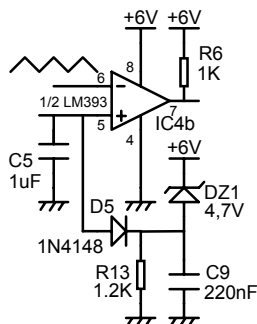
Le signal moyenné entre sur l'entrée + du comparateur IC4b. La sortie du générateur de rampe (Tension Triangulaire) entre quant à elle sur l'entrée - de IC4b.

### Commande PWM du (des) Transistor(s) de Puissance





## VI . Système de Surveillance de la Batterie



L'ensemble D5, R13, C9 et DZ1 constitue un moniteur d'alimentation.

Le fonctionnement est le suivant :

Nous avons vu précédemment qu'en fonctionnement que la tension aux bornes de C5 variait de 0,3125V à 0,4375V.

Si la batterie est bien chargée la diode zéner DZ1 est polarisée. La tension aux bornes de R13 et C9 vaut donc  $6 - 4,7 = 1,3V$ . Cette tension étant supérieure à 0,4375V, la diode D5 est constamment bloquée et le comparateur fonctionne normalement.

Par contre si la tension batterie descend trop bas, la diode zéner DZ1 n'est plus polarisée et se comporte comme un circuit ouvert. La tension aux bornes de R13 et C9 est alors nulle. La diode D5 est passante et court-circuite C5. La sortie du comparateur est forcée à 0. Les transistors MOS de sortie ne sont plus commandés.

Par contre, le régulateur faible perte 5V est toujours alimenté afin de garantir le fonctionnement de la radio (radio prioritaire par rapport au moteur).

## VII . Calcul du nombre de transistor MOS

Pour calculer le nombre de transistor MOS, il est nécessaire de connaître la consommation moyenne de votre moteur en charge. Pour ce faire, s'il s'agit d'un variateur destiné à un modèle réduit de bateau, il suffit de faire la manipulation suivante :

Placer le bateau dans l'eau contre un mûr (pour faire « forcer » le moteur), alimenter le moteur directement avec sa batterie 6V en ayant pris soin de placer en série un Ampèremètre. Relever la valeur lue sur l'Ampèremètre.

Multiplions cette valeur par 1,5 et nous obtenons la valeur  $I_M$  que devra fournir le variateur sans que la tension moteur ne s'écroule sous  $6V - \Delta V$ .

En général, on prend  $\Delta V$  de l'ordre de 0,3V. C'est-à-dire que la tension aux bornes du moteur en pleine charge sera de :  $6 - \Delta V = 5,7V$ .

Appliquer alors la formule suivante :

$$NbTransi = \frac{Ron \cdot IM}{\Delta V}$$

**Exemple :** Les moteurs de la série 400 avec des transistors IRL2203N

Ces moteurs consomment en charge environ 10 A. (  $I_M = 10A$  )  
La résistance  $R_{on}$  de ces transistors est  $0,009\Omega$  à  $V_{GS}=6V$ . (  $R_{on}=0,009\Omega$  )  
On désire une perte maximale  $\Delta V$  de  $0,3V$ . (  $\Delta V = 0,3V$  )

Avec la formule ci-dessus, on obtient :

$$NbTransi = \frac{0,009 \cdot 10}{0,3} = 0,3 \Rightarrow 1$$

Pour ce type de moteur, il convient de monter 1 seul transistor MOS IRL2203N.

En prenant soin d'appliquer cette méthode, il n'est pas nécessaire de monter de radiateur sur les transistors MOS.

## VII . Réglages

Brancher un Voltmètre à la place du moteur.

Mettre le manche et le trim des gaz de l'émetteur au milieu. Allumer la radiocommande.

1) Réglage du Neutre :

A l'aide d'un tournevis régler R2 jusqu'à ce que la LED « Marche Arrière » passe de éteinte à allumée. Revenir très légèrement en arrière au niveau du réglage. Manche au milieu la LED « Marche Arrière » doit être éteinte: début de la zone « Marche Avant ».

2) Réglage de la Zone morte :

Pousser le manche d'un ou deux crans et toujours à l'aide d'un tournevis régler R12 jusqu'à ce que le Voltmètre affiche zéro (il faut qu'avant le réglage que le Voltmètre affiche une valeur différente de zéro, sinon déréglez R12 pour cela).

Voilà, c'est tout, votre variateur est bon pour le service !

## VIII . Conclusions

Ce variateur rivalise sans problème avec les modèles commerciaux à 400 ou 500F.

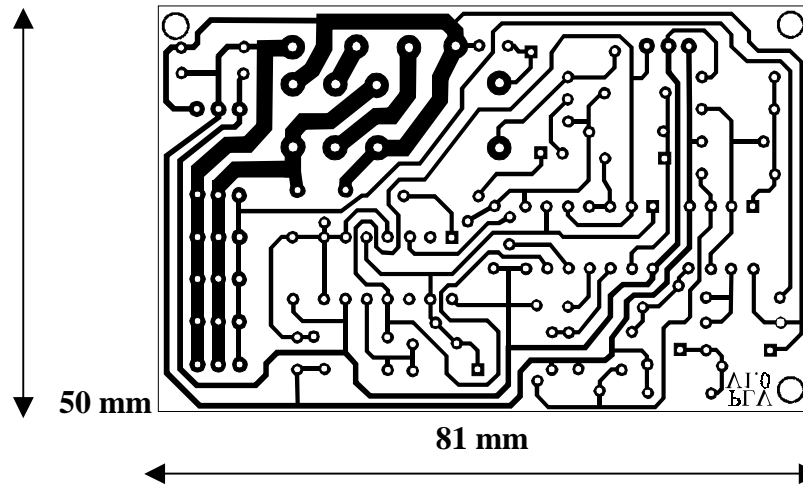
Je l'ai monté sur un chalutier au 1/33° équipé d'un moteur de la série 400. Ce chalutier tracte un chalut fonctionnel. Il fonctionne parfaitement en marche avant et en marche arrière.

Il convient également de noter que contrairement à certains variateurs équipés des circuits spécialisés cités plus haut, que celui-ci atteint 100% de la tension batterie en marche arrière !

Si vous l'utilisez pour un modèle réduit de bateau, je vous souhaite de bonnes navigations !!!

# ANNEXE

## I. Circuit Imprimé du Variateur 6 V avec Marche Arrière



**ATTENTION :** Il s'agit des pistes vues en transparence (Elles sont en dessous).

D'ailleurs, les habitués se repéreront à l'aide de la patte 1 des circuits intégrés qui est une pastille carrée.

**CONSEIL :**

Il est conseillé de charger en étain les pistes de puissance afin d'en augmenter la section pour diminuer la résistance ohmique de celles-ci.

## II. Implantation des Composants

