

# Rapport du projet

**Numéro du candidat :** Candidat n°485

**Numéro du projet :** Projet n°5

**Descriptif du projet :** Réalisation d'un système de commande pour moteur pas à pas synchrone

**Conditions de réalisation :**

- Affichage (sur 7-segments) du positionnement du moteur
- Possibilité de sélection manuelle du sens de rotation
- A l'aide de boutons-poussoirs, entrer le déplacement à effectuer par le moteur et afficher ce nombre sur les 7-segments
- La commande de départ jusqu'à l'emplacement désiré se fera à l'aide d'un interrupteur ou d'un bouton-poussoir
- Le branchement du moteur (6 fils) à l'électronique de commande doit impérativement se faire à l'aide d'un connecteur, pour d'éventuels essais avec d'autres types de moteur pas à pas
- Une indication spécifique sur les données techniques à respecter pour la connexion de différents moteurs sera apposée sur le rack
- A l'aide d'un potentiomètre ou d'un commutateur, on devra pouvoir varier la vitesse

**Exigences matérielles :**

- Utilisation du moteur à disposition, avec sa plaque de graduation en degrés
- Réaliser le projet sur un des racks à disposition, y compris la fixation du moteur
- La technique de réalisation ainsi que les éléments de commandes sont au libre choix du candidat

**Temps à disposition :** 10 jours (80 heures)

**Début du projet :** Jeudi 27 avril 2000

# Table des matières :

<b>INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
<b>CAHIER DES CHARGES ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT</b>	<b>3</b>
<b>ETUDE DES COMPOSANTS</b>	<b>3</b>
SCHEMA BLOC	3
ETUDE DU MOTEUR ET DE SA COMMANDE	3
ETUDE DE LA PARTIE AFFICHAGE	6
ETUDE DE LA COMMANDE	6
<b>CHOIX ET PRINCIPES DES DIFFERENTS ELEMENTS ETUDIES</b>	<b>6</b>
LA COMMANDE DE MOTEUR	6
LA PARTIE AFFICHAGE	11
LES DIFFERENTS COMPOSANTS POUR LA COMMANDE	12
<b>SCHEMA COMPLET</b>	<b>13</b>
<b>FONCTIONNEMENT GENERAL</b>	<b>13</b>
AMELIORATIONS POSSIBLES	15
<b>LISTE DES PIECES ET COUT</b>	<b>16</b>
<b>PLANS MECANQUES</b>	<b>17</b>
PLAQUE DE DESSUS	17
PLAQUE CENTRALE	17
PLAQUE DE DESSOUS	17

## Introduction

### Cahier des charges et principe de fonctionnement

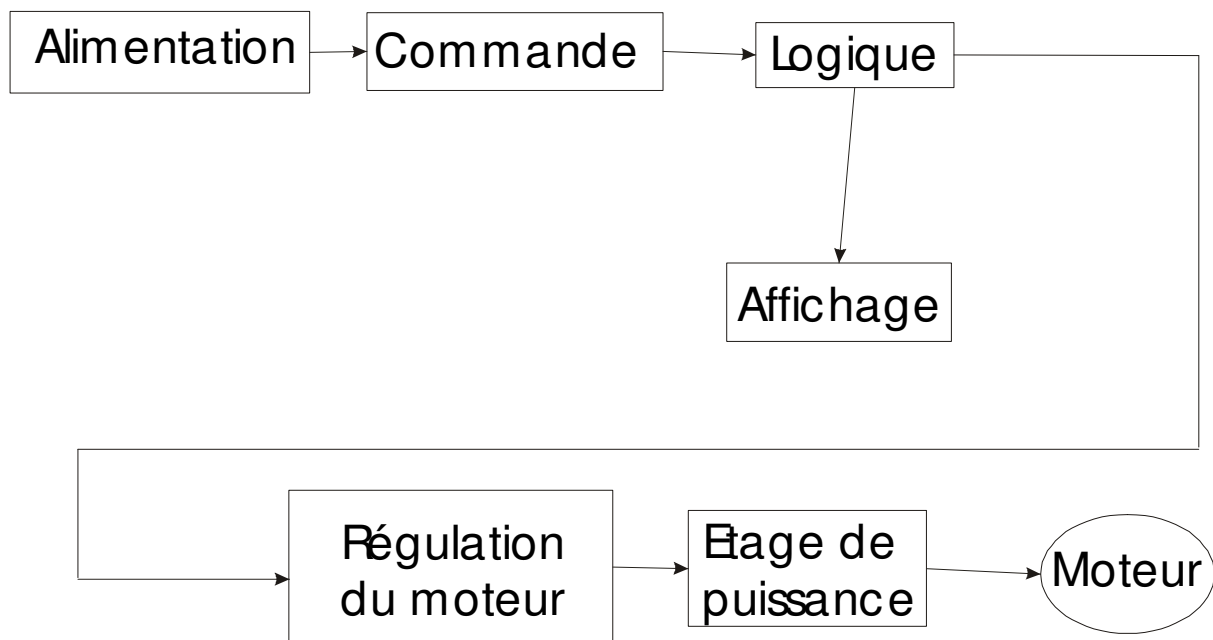
Le projet d'analogique consiste à réaliser une interface pour moteur pas à pas. Le projet a donc pour objet de développer le système de commande d'un moteur pas à pas en utilisant de l'électronique traditionnelle, analogique ou digitale.

Pour réaliser ce projet, je dispose d'un moteur pas à pas (Super Electric de 4.2 Volts et 1.9 Ampères) 4 phases montées en unipolaire et d'un rack pour y mettre les différents éléments (cartes, moteur, affichage).

L'utilisateur doit pouvoir demander au système de se déplacer de  $X^\circ$  dans le sens horaire ou dans le sens anti-horaire. Pour ce faire, il indique au système le sens et l'amplitude du déplacement souhaité en degrés (angle de rotation programmable de  $0^\circ$  à  $360^\circ$ ).

### Etude des composants

#### Schéma bloc

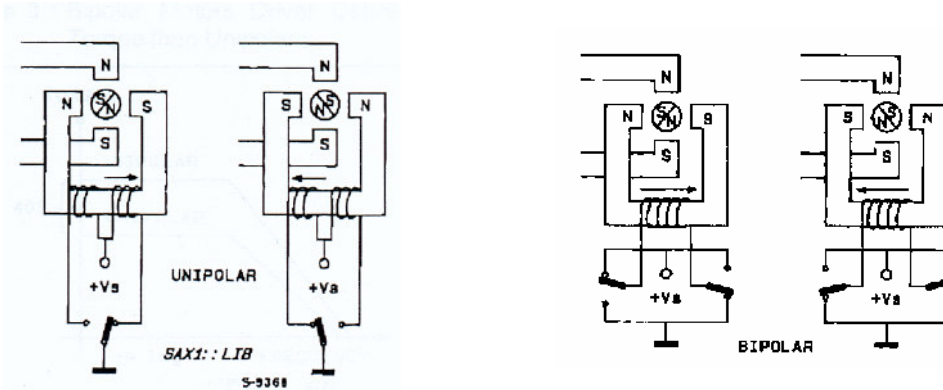


#### Etude du moteur et de sa commande

Premièrement, je me suis demandé les avantages et désavantage des moteurs pas à pas.

Avantages	Désavantages
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Robuste, usure lente</li> <li>- Bonnes caractéristiques d'immobilisation asservie électriquement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Commande complexe</li> <li>- Régulation en boucle ouverte</li> <li>- Rapport volume/rendement plutôt médiocre</li> </ul>

Il existe 2 types de moteurs pas à pas : les unipolaires et les bipolaires.  
Leur fonctionnement est à peu près identique : un champ tournant, entraîne un rotor magnétique.

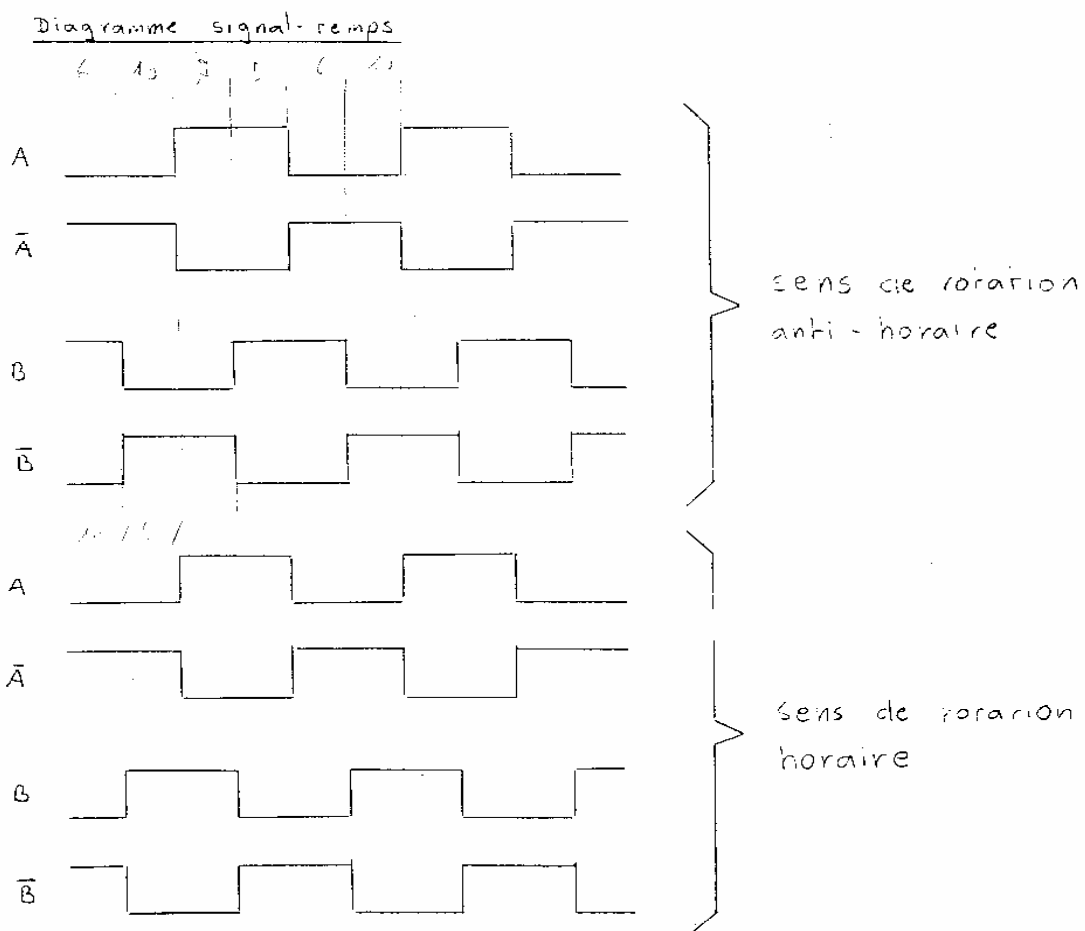
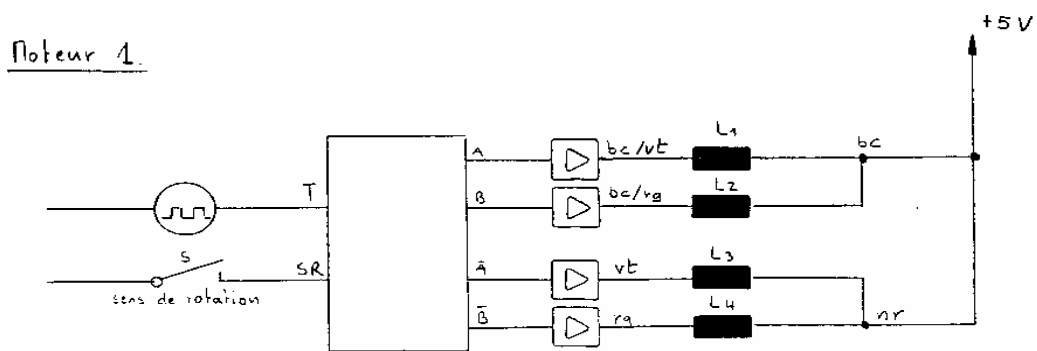


Le moteur pas à pas est unipolaire 4 phases. Ce mode d'alimentation est dit "unipolaire" parce que la même polarité de tension est toujours appliquée aux mêmes bornes des enroulements. La disposition des circuits magnétiques est effectuée de telle façon que le rotor s'anime d'un mouvement angulaire, en fonction de l'excitation des bobines du stator. Il faut alimenter les quatre phases par des séries d'impulsion bien déphasées entre elles pour permettre la rotation du moteur.

Les caractéristiques du moteur sont les suivantes :

- Tension moyenne de 4,2 Vdc,
- intensité par phase de 1,9 A,
- angle de pas de 1,8°
- Température max. :65°C

Voici le schéma pour faire tourner le moteur :



Dans mes différentes recherches, j'ai trouvé des circuits de commande pour moteur pas à pas. Dans le choix, 2 me paraissaient convenir pour mon projet : Le L2619 et le L297, tous 2 de SGS. J'ai donc réalisé un compteur 6-10-9-5 avec des bascules D. J'ai aussi ajouté un circuit de puissance. Le moteur tournait dans le sens anti-horaire.

## Etude de la partie affichage

Le premier problème que j'ai eu à été de définir les données qui seront affichée (en degrés ou en nombres de pas). Comme le moteur a 200 pas, cela nous fait  $1,8^\circ/\text{pas}$ . La conversion de nombre de pas en degrés se fera à l'aide de 2 EPROMS. Sur les sorties des EPROMS, j'aurais un nombre binaire que j'enverrais dans un convertisseur BCD/7-segments. Les sorties du convertisseur iront, par des réseaux de résistances, directement au 7-segments.

## Etude de la commande

Comme le moteur à 200 pas, je devrais avoir un compteur de minimum 8 bits (256). Lors de l'appui sur le bouton-poussoir, le compteur va incrémenter la valeur des sorties. Lorsque le compteur arrivera à 200, il devra se « resetter ». La valeur 200 en décimal est égal à 10001100 en binaire. Donc quand les bits 8, 4 et 3 seront à 1, il faudra envoyer une impulsion sur l'entrée RESET du compteur.

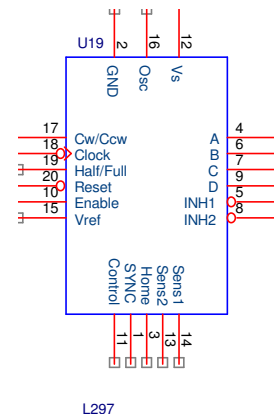
## Choix et principes des différents éléments étudiés

### La commande de moteur

Pour la commande de mon moteur, j'ai choisi d'utiliser le circuit L297, qui va de pair avec le driver de puissance L298, qui sont tous les deux de SGS. Le L2619 est un très bon composant, mais qui ne se « marie » pas parfaitement avec d'autre Driver de puissance. En général on l'utilise seul pour commander des moteurs pas à pas, car il peut fournir 750mA au maximum.

Voici le schéma du L297 :

Le contrôleur L297 génère les signaux de commande pour les 4 phases du moteur, en fonction des impulsions qu'il reçoit sur son entrée Clock. Il permet aussi la sélection du sens de rotation et de la taille du pas (pas ou demi-pas). Selon le cas, le moteur avance ou recule d'un pas ou d'un demi-pas lors du flanc descendant du signal appliqué à l'entrée Clock. Lorsqu'on maintient l'entrée de validation (Enable) au niveau logique bas, le moteur est inactivé, ce qui permet à son axe de tourner librement. En faisant passer au niveau bas l'entrée de remise à zéro (Reset), on bloque le moteur à sa position initiale.



Voici la structure interne du L297 :

Le "coeur" du L297 est un bloc appelé traducteur qui permet de générer convenablement les séquences des phases en pas entier ou en 1/2 pas.

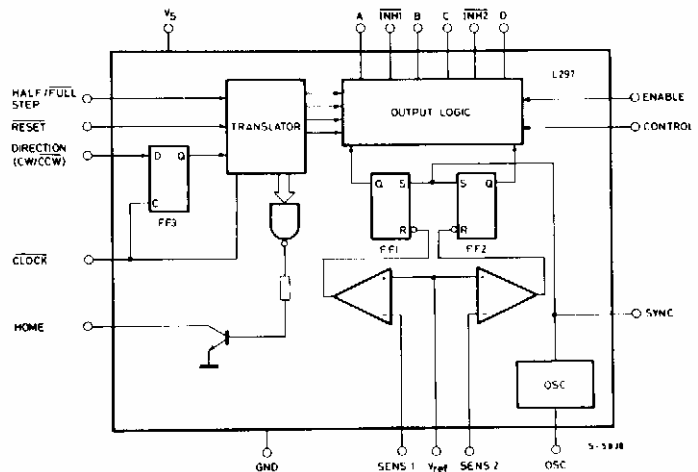
En interne, le traducteur consiste en un compteur 3 bits qui génère un code séquentiel pour un pas.

On initialisera le circuit L297 en générant une impulsion négative sur son entrée "Reset", et en mettant un niveau haut sur l'entrée "Enable" afin d'autoriser les sorties. Quant à l'entrée CONTROL, elle sera fixée à 1 Elle permet de réguler le courant de charge dans les enroulements du moteur pas à pas lorsque CONTROL=0 en agissant sur les signaux INH1 et INH2. La fréquence d'oscillation fixée par un circuit RC détermine le taux de commutation des transistors : 2 kHz (donnée dans la documentation du circuit).

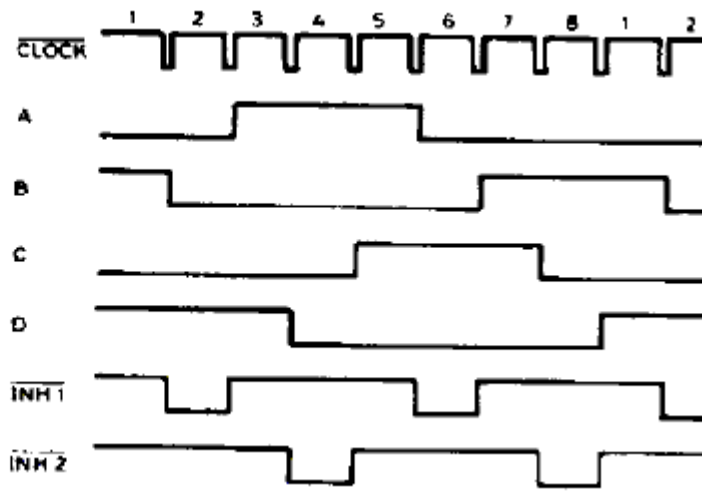
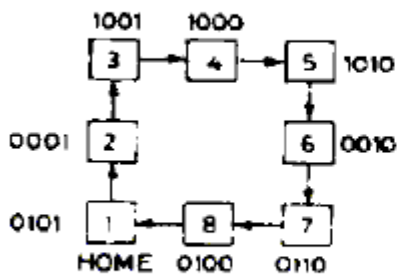
La broche V<sub>réf</sub>. permet de fixer le courant de charge.

La sélection du type de pilotage vient de l'entrée Half/Full (pin19). Si l'entrée est au niveau bas, le L297 sélectionne le mode a demi-pas (half step), sinon il sélectionne le mode pas entier (Full step), dans ses 2 variantes (1 ou 2 phases actives).

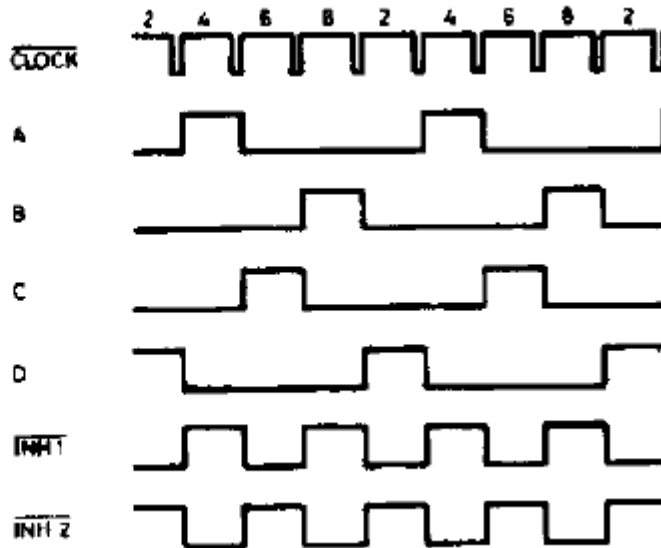
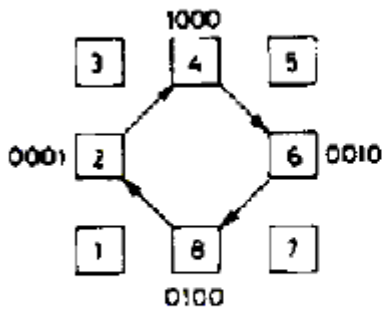
Pour actionner un des divers type de pilotage, il nous faut avoir des conditions particulières. : Le mode demi-pas vient sélectionné automatiquement avec un niveau logique bas sur l'entrée Half/Full, mais le niveau haut de cette entrée sélectionne le fonctionnement soit en 1 phase active ou soit en 2 phases actives. C'est pourquoi, il faut faire attention à la position du moteur lorsque l'on met la pin 19 au niveau haut. Le fonctionnement en 1 phase active se sélectionne avec le moteur en position de Home, et dans toutes les successives positions impaires, tandis que le fonctionnement en 2 phases actives se sélectionne dans toutes les positions paires à celle de Home.



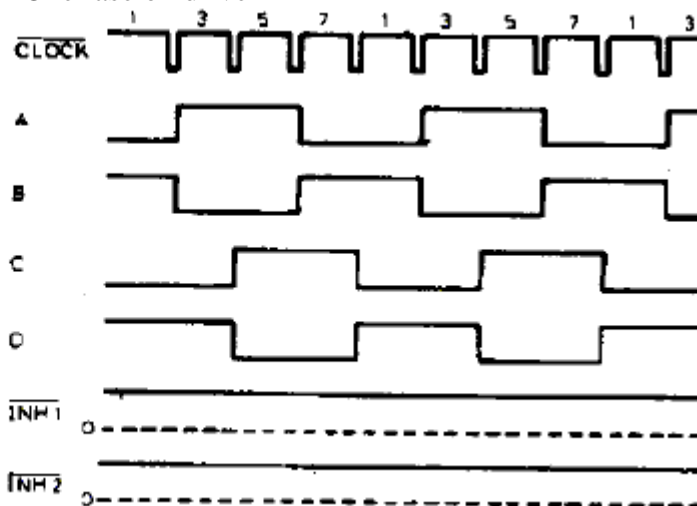
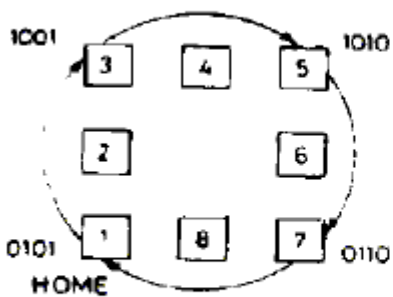
Le fonctionnement résulte plus immédiat en regardant les différentes figures ci-dessous :



Half step mode



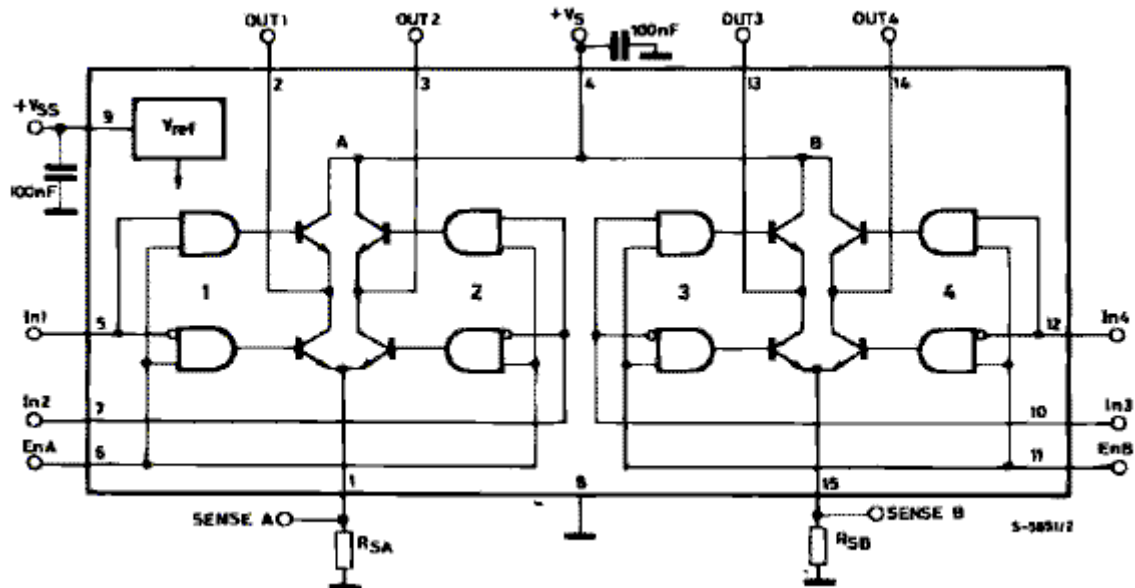
One fase on drive



Two fase on drive

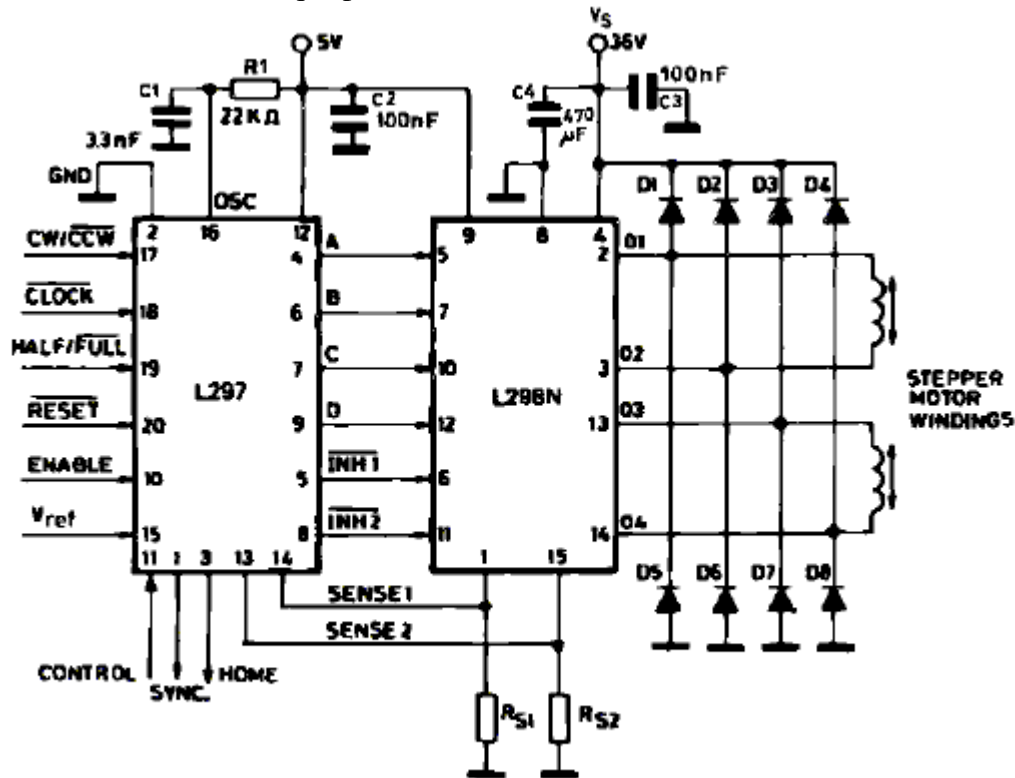
Le contrôleur L297 a été conçu pour fonctionner avec le circuit L298N Driver de puissance qui fournit le courant nécessaire au moteur pas à pas. Ce circuit peut fournir jusqu'à 4 A sous 46V. Il est composé de logique combinatoire et de transistors de puissance qui fonctionnent en bloqués-saturés. Il reçoit les signaux A, B, C et D des 4 phases (signaux fournis par le L297) et fournit les mêmes signaux mais avec la tension et le courant nécessaire au moteur pas à pas (5V et 1.9A). Le circuit L298 sera donc alimenté en 5V.

Le principe de fonctionnement résulte immédiatement en regardant le schéma ci-dessous :



Le L298 véhicule les courants continus drainés par les stators. La commande en courant donne de bons résultats parce qu'elle permet d'appliquer aux moteurs pas à pas une tension plus importante que celle admissible dans le cas d'une commande en tension. De plus, avec ce type de commande les caractéristiques dynamiques du moteur (fréquence de démarrage et taux de pas maximal) s'améliorent sensiblement. Lorsque les enroulements du stator sont reliés à la tension d'alimentation, au début de chaque période, un oscillateur interne positionne une bascule bistable. En raison de l'inductivité du stator, le courant de sortie commencera par croître linéairement entraînant ainsi la présence d'une tension linéaire aux bornes des résistances de détections de courant,  $R_{SA}$  et  $R_{SB}$ . Lorsque la tension mesurée atteint la valeur de crête définie par moi (voir page 7),  $V_{ref}$ , 2 comparateurs remettent les bistables à zéros, provoquant la coupure du courant de stator.

Voici maintenant le schéma que préconise SGS :



C'est celui que j'ai utilisé. Je peux maintenant continuer mon explication.

Des diodes d'arrêt provoquent l'effondrement du champ induit du stator. Donc la commande fonctionne par détection de crêtes. Le courant moyen résultant est fonction de plusieurs variables :  $V_{ref}$ , la fréquence de l'oscillateur (expliqué plus haut), et la valeur des résistances de détections de courant. Lorsque l'entrée Control se trouve au niveau bas, l'un des transistors en pont interne du L298 reste passant pendant la période de conductivité des diodes d'arrêt, ce qui a pour effet de maintenir à une valeur relativement faible la tension d'arrêt aux bornes de l'enroulement du stator, entraînant une diminution moins importante de la force du champ du stator et réduisant ainsi l'amplitude de l'ondulation résiduelle.

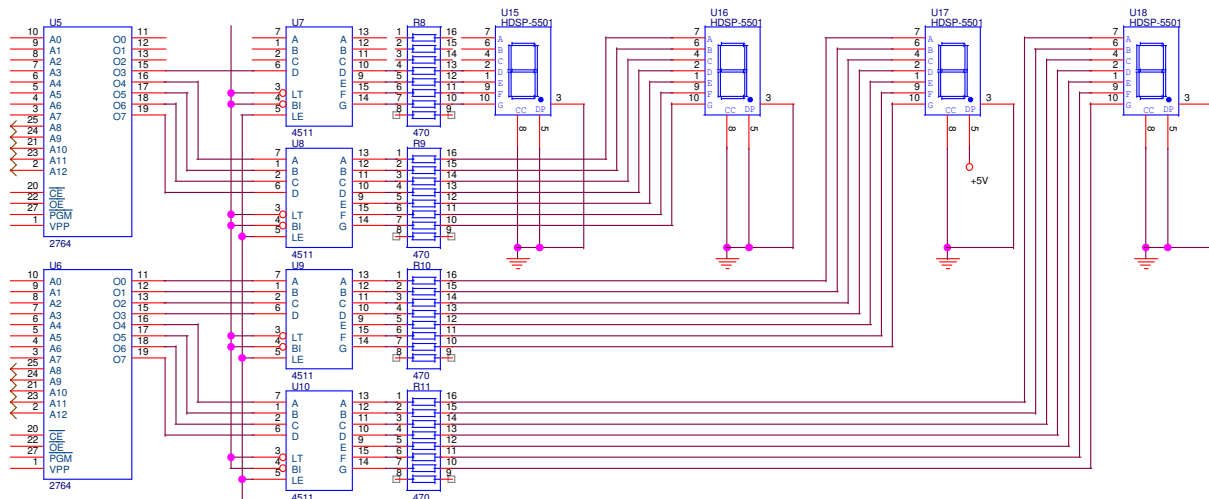
Le fonctionnement du moteur a été initialisé en pas entier (Half/Full=0). Dans les 2 modes (pas entier ou  $\frac{1}{2}$  pas), deux signaux INH1 et INH2 sont générés et accélèrent la propagation du courant dans les enroulements du moteur pas à pas lorsque Control=0.

Comme les résistances câblées aux pattes SENSE1 et SENSE2 sont traversées par 1.9A (courant de charge du moteur pas à pas), et que les valeurs des résistances sont de  $1\ \Omega$  chacune (valeurs typiques de  $0.5\ \Omega$ , voir doc. du constructeur), on a donc une tension à leurs bornes de  $V_{ref}$ , soit de 1.9V. J'ai donc mit un diviseur de tension avec des résistances de respectivement  $56\text{k}\Omega$  et  $39\text{k}\Omega$ .

$$U_{ref} = \frac{U}{R1+R2} * R2 = \frac{5}{56*10^3+39*10^3} * 39*10^3 = 2.05V$$

## La partie affichage

Pour l'affichage proprement dit, j'ai choisi les degrés, solution plus complexe, mais plus élégante et beaucoup plus compréhensible par un utilisateur novice. Donc lors du premier pas du moteur, l'affichage devra indiquer  $1.8^\circ$ , lors du second pas :  $3.6^\circ$  etc... (voir tableau ci-après(4 pages)) Les Eproms sont donc là comme convertisseur pas/degrés. Je fais appel à deux EPROM 2764. La première EPROM est destinée à l'affichage des unités et des centièmes, quant à la seconde, elle est réservée à l'affichage des centaines et des dizaines. Deux 2732 me seraient suffisantes, mais j'ai utilisé une 2764 pour d'éventuels ajouts, donc amélioration de la partie affichage. Les 2 EPROM 2764 sont, en plus, compatibles broche à broche avec des 2732.

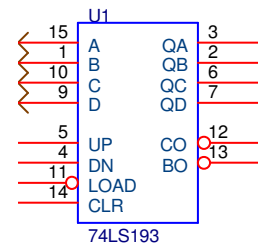


Pour les 4 décodeurs BCD/7-segments, mon choix s'est arrêté sur un 4511, décodeur qui convenait particulièrement bien pour l'affichage de mes 7-segments.

Les afficheurs 7-segments sont des HDSP-5501 à cathode commune de chez HP. Pour allumer un segment, le courant traversant celui-ci doit être d'environ 20 mA et la tension aux bornes d'une des leds de l'afficheur doit être de 1,5 Volts pour que le segment soit bien éclairé. J'ai utilisé quatre réseaux de 8 résistances de  $470\Omega$ .

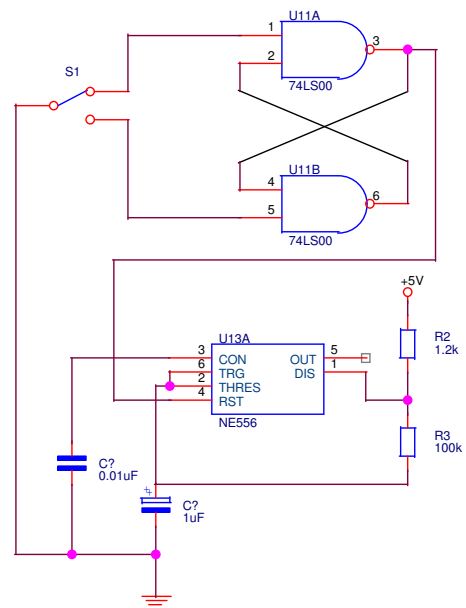
### Les différents composants pour la commande

Pour les compteurs, les 74LS193 me conviennent parfaitement. Ils possèdent un reset et lorsque le compteur à finit de compter ou de décompter, la sortie CO(comptage) ou la sortie BO(décomptage), envoie une impulsion négative, ce qui facilite la mise en série des compteurs.



Lors de l'appui sur le bouton-poussoir, le compteur va se mettre à compter à une certaine fréquence. Pour réaliser cela, j'ai ajouté un 556. Il faut tout de même mettre un système d'anti-rebond avant le 556. Ca nous donne ceci :

La sortie (pin 5) du 556 va directement sur l'entrée UP (pin 4) du premier 74LS193.



La fréquence de sortie du 556 à été calculé de façons à ce que lors d'un rapide appui sur le bouton-poussoir, l'utilisateur n'a pas plusieurs comptages :

$$T_{charge} = 0.7 * (R2 + R3) * C2 = 0.7 * (1.2 * 10^3 + 100 * 10^3) * 1 * 10^{-6} = 70.7 \text{ms}$$

$$T_{déch.} = 0.7 * R3 * C2 = 0.7 * 100 * 10^3 * 1 * 10^{-6} = 70 \text{ms}$$

$$T_{total} = T_{charge} + T_{déch.} = 70.7 \text{ms} + 70 \text{ms} = \underline{\underline{\sim 140 \text{ms} \Rightarrow \sim 7 \text{Hz}}}$$

La fréquence de fonctionnement sera aussi crée à l'aide d'un 556. C'est la fréquence à laquelle le moteur tournera. Bien sûr elle est variable grâce à un potentiomètre qui à été dimensionné pour que le 556 envoie des impulsions entre ~5Hz et ~100Hz.

$$T_{charge} = 0.7 * (R4 + P1 + R5) * C5 = 0.7 * (100 + 5 * 10^3 + 100) * 47 * 10^{-6} = 171 \text{ms}$$

$$T_{déch.} = 0.7 * (P1 + R5) * C5 = 0.7 * (100 + 5 * 10^3) * 47 * 10^{-6} = 167.8 \text{ms}$$

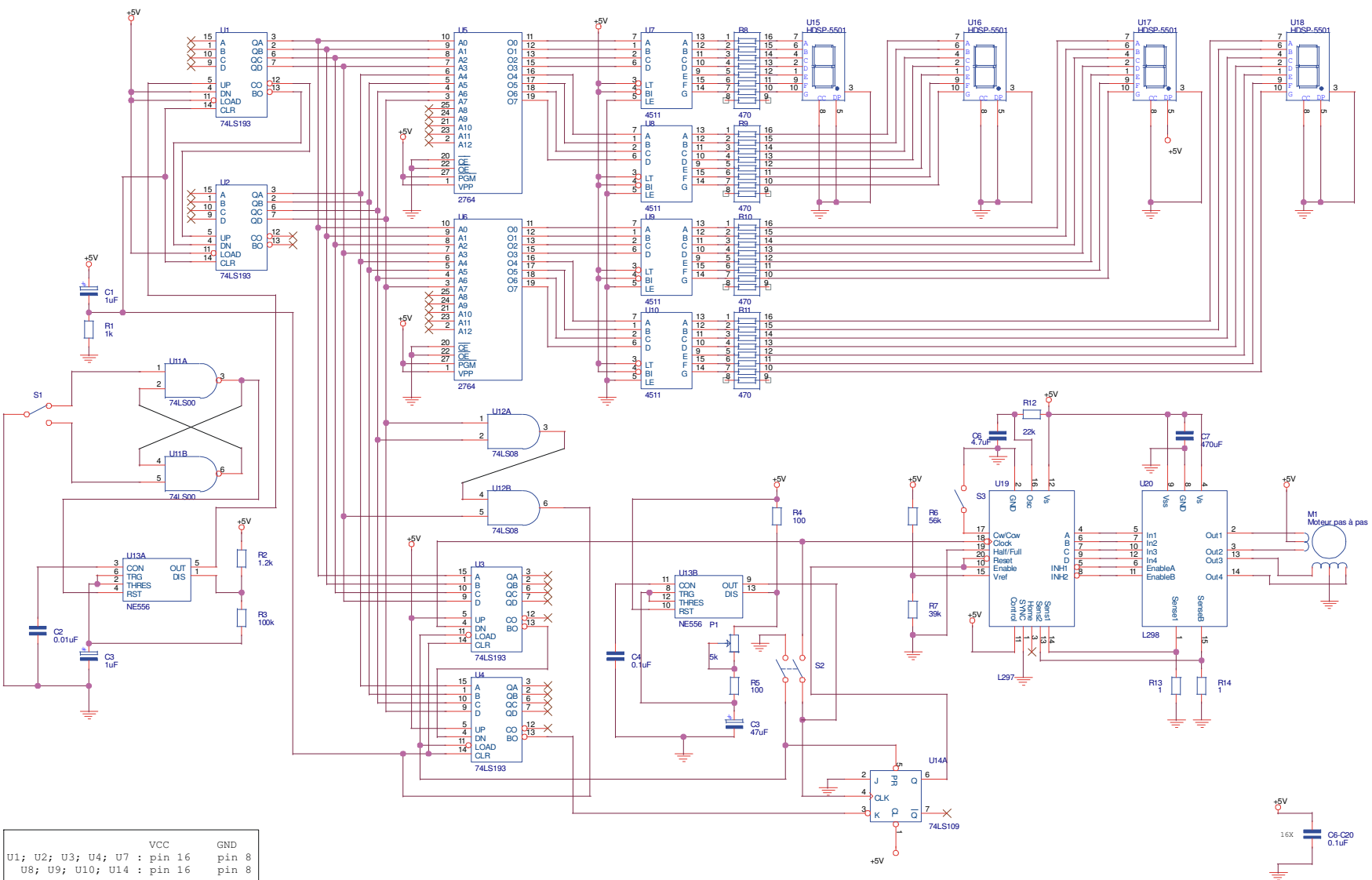
$$T_{total} = T_{charge} + T_{déch.} = 171 \text{ms} + 167.8 \text{ms} = \underline{\underline{\sim 338.9 \text{ms} \Rightarrow \sim 3 \text{Hz}}}$$

$$T_{charge} = 0.7 * (R4 + R5) * C5 = 0.7 * (100 + 100) * 47 * 10^{-6} = 6.58 \text{ms}$$

$$T_{déch.} = 0.7 * R5 * C5 = 0.7 * 100 * 47 * 10^{-6} = 3.29 \text{ms}$$

$$T_{total} = T_{charge} + T_{déch.} = 6.58 \text{ms} + 3.29 \text{ms} = \underline{\underline{\sim 9.87 \text{ms} \Rightarrow \sim 100 \text{Hz}}}$$

# Schéma complet



U1; U2; U3; U4; U7	VCC	GND
U8; U9; U10; U14	: pin 16	pin 8
U5; U6	: pin 28	pin 4
U11, U12; U13	: pin14	pin 7
U19	: pin12	pin 2
U20	: pin4	pin 8

Segalla Jacques		
Titre		
Commande de moteur pas à pas		
Size	Document Number	Rev
A3	1	1
Date:	Wednesday, May 24, 2000	Sheet 1 of 1

## Fonctionnement général

*Pour mieux comprendre les explications qui vont suivre, je vous conseille vivement d'avoir sous les yeux la feuille du schéma complet*

Lors de l'appui sur le bouton-poussoir S1, le 556 (U13A) va commencer à osciller. L'attaque de l'entrée Reset du 556 se fait d'abord par un anti-rebonds, constitué d'une bascule R-S « fabriqué » à l'aide de 2 portes NAND (U11A et U11B). La fréquence d'oscillation de U13A a déjà été expliquée. La sortie de U13A (pin 5) va directement à l'entrée UP du 74LS193 (U1), ce qui a comme fonction de l'incrémenter à chaque flanc montant du signal reçu.

Lorsque U1 a fini de compter, sa sortie BO envoie une impulsion positive à l'entrée UP de U2. Comme le 74LS193 est un compteur binaire, lorsqu'il arrive à 15 et passe à zéro, le second 74LS193 va s'incrémenter. J'ai donc un compteur 8 bit. Donc le nombre maximum que je pourrais avoir, sera de 256, plus que suffisant vu que mon moteur fait 200 pas par tour. Les sorties des compteurs vont d'abord dans les 2 EPROM 2764, qui servent de décodeurs « pas-degrés ». Les sorties des EPROM sont directement connectés aux 4 décodeurs BCD/7-segments, qui eux vont dans les 4 afficheurs. *L'explication détaillée de la partie affichage est traitée à la page 11 !*

Les sorties des compteurs (U1 et U2) sont aussi reprises par les entrées ABCD de même compteurs (U3 et U4). La configuration de U3 et U4 est faite en sorte qu'ils décomptent. Le clock est généré par un 556 (U13B), qui va aussi au clock du L297.

Le 556 (U13B) définit donc la fréquence de fonctionnement du moteur.

Lorsque S2 se ferme, une impulsion négative va aller directement sur les LOAD de U3 et U4, ce qui a pour fonction de charger les valeurs binaires des entrées, donc du nombre de pas dans notre cas. En même temps le compteur va commencer à décompter à la fréquence du moteur.

La bascule J-K est là pour mémoriser l'impulsion négative de la sortie BO de U4. Lorsque la J-K aura reçue cette impulsion, la sortie Q qui est relié à l'entrée Enable du L297, restera à zéro ce qui permet d'inactiver le moteur. L'avantage de cette procédure, est que l'axe du moteur est libre pour par exemple le repositionner à une position voulue.

**Table de vérité de la 74LS109**

Set	Reset	J	Kinv	Q	Qinv
0	1	X	X	1	0
1	0	X	X	0	1
0	0	X	X	Instable	Instable
1	1	0	0	0	1
1	1	1	0	Qinv	Q
1	1	0	1	Q	Qinv
1	1	1	1	1	0

On peut remarquer que la fréquence qui sort de U13B est la même que pour U4 et U14A. Ils sont donc parfaitement synchrones.

Lorsque le bouton S2 (OK) est remis dans sa position, le compteur va commencer à décompter et le moteur commencera à tourner. Lorsque le décompte est fini, une impulsion négative sort de BO de U4, et va sur l'entrée K de la J-K, ce qui permet de désactiver le moteur grâce à un « 0 » sur Enable du L297. Et l'on peut recommencer depuis le début. L'avantage de ce système est que lors de l'arrêt du moteur, l'utilisateur peut le positionner n'importe où, et repartir de ce point pour X°. Le désavantage est le risque encouru de perdre ou de gagné un pas à chaque action sur OK. Lors de l'appui sur OK, il y aura un « 1 » sur

l'Enable du L297. C'est justement à ce moment là que le moteur va se bloquer à une certaine position, et c'est donc à ce même moment que le moteur va prendre ou perdre un pas. Tout dépend de sa position.

Lors de l'allumage du circuit, un reset est réalisé grâce à C1 et R1. C1 et R1 sont dimensionnées de sorte à ce qu'il y ai une impulsion de durée suffisante sur les entrées de Reset des quatre 74LS193.

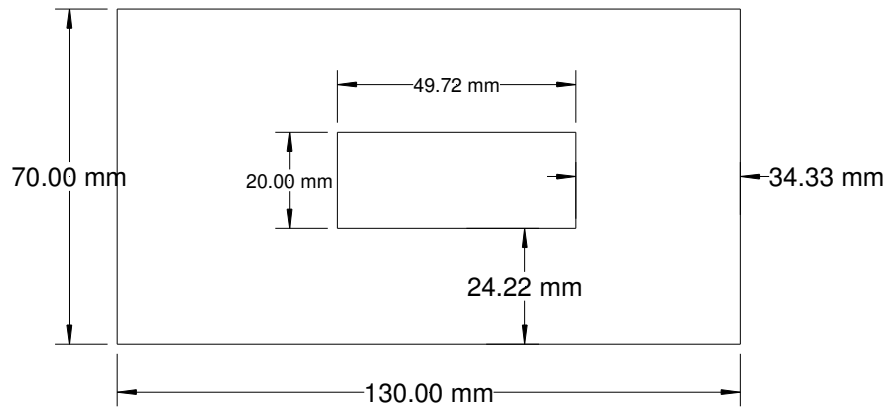
### **Améliorations possibles**

- Ajout d'un bouton-poussoir pour décompter, raison pour laquelle j'ai utilisé un 74LS193, plus simple à mettre en œuvre pour compter et décompter
- Ajout d'une détection de passage à zéro
- Possibilité de le faire fonctionner en mode automatique
- Affichage en temps réel du positionnement du moteur

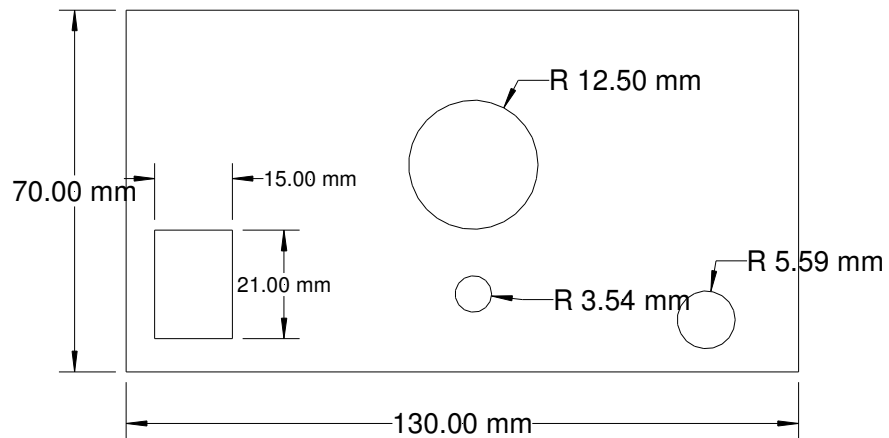
## **Liste des pièces et coût**

## Plans mécaniques

### Plaque de dessus



### Plaque centrale



### Plaque de dessous

